# MEMORIAS

DE LA

# REAL ACADEMIA DE CIENCIAS

EXACTAS, FISICAS Y NATURALES

DE

## MADRID

TOMO IX



MADRID
IMPRENTA DE LA VIUDA É HIJO DE DON EUSEBIO AGUADO
*calle de Pontejos*, 8

1881

# MEMORIAS

DE LA

# REAL ACADEMIA DE CIENCIAS

EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES

DE

MADRID

# MEMORIAS

DE LA

# REAL ACADEMIA DE CIENCIAS

## EXACTAS, FISICAS Y NATURALES

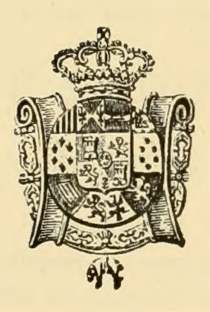
DE

## MADRID

---

TOMO IX

---



MADRID
IMPRENTA DE LA VIUDA É HIJO DE DON EUSEBIO AGUADO
*calle de Pontejos*, 8

1881

Publicado por acuerdo de la Academia.

EL SECRETARIO GENERAL,

ANTONIO AGUILAR.

# MOVILIZACION

DE LA

# FUERZA DEL MAR

## APROVECHAMIENTO

DE LOS

## MOTORES IRREGULARES, COMO LAS MAREAS Y LAS OLAS

POR EL INTERMEDIO

## DEL AIRE COMPRIMIDO

CON VARIAS APLICACIONES

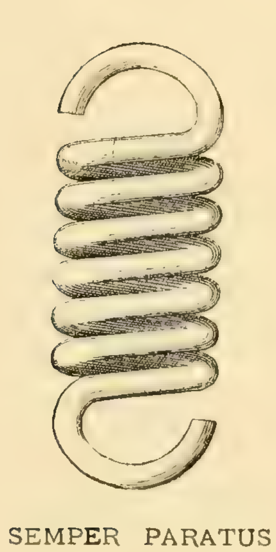
POR EDUARDO BENOT

Y RODRIGUEZ

**Individuo correspondiente de la Academia Española, Corresponsal de la Academia de Ciencias exactas, físicas y naturales, Honorario de la Academia de Bellas Artes de Cádiz, ex-Jefe de Seccion del Observatorio de Marina de San Fernando, ex-Secretario del Senado, de la Asamblea Nacional y del Congreso, ex-Ministro de Fomento, etc.**

La Academia no adopta ni rehusa las opiniones de sus individuos:

Cada autor es responsable de lo que contengan sus escritos.



SEMPER PARATUS

Io ho meno in mente di persuadere
che di far pensare.

CIALDI.

# ÍNDICE.

Págs.

INTRODUCCION ..................................... 1
PLAN DE LA OBRA ..................................... 9

## PARTE I.

PRELIMINARES sobre la fuerza del MAR y la conversion en aire comprimido. 11

LIBRO I. Las mareas en general ..................................... 13
Clasificacion en tres grupos ..................................... 15
CAPÍTULO I. Cuestion astronómica ..................................... 18
CAP. II. Cuestion telúrica ..................................... 33
CAP. III. Cuestion dinámica ..................................... 77
Apéndices I. Mareas del Mediterráneo ..................................... 91
II. Mareas en el Lago Superior ..................................... 92
III. Mareas en el Lago Michigan ..................................... 92
IV. Diferentes clases de ondas ..................................... 93
V. Efectos de la marea en la rotacion terrestre ..................................... 96

LIBRO II. Las mareas en España ..................................... 101
CAPÍTULO I. Amplitud de la marea ..................................... 103
CAP. II. Poder dinámico de la marea en España ..................................... 119
Apéndices I. Final de un capítulo de ROBERT KANE ..................................... 133
II. Utilizacion actual de la marea en Cádiz ..................................... 135
III. Otros medios de utilizacion ..................................... 139
IV. Salinidad del agua del mar ..................................... Id.

LIBRO III. Las olas ..................................... 141
CAPÍTULO I. Amplitud de las olas ..................................... 143
CAP. II. Poder dinámico de las olas de tempestad ..................................... 153

LIBRO IV. Abundancia y baratura de los motores hidráulicos ..................................... 165
CAPÍTULO I. El motor hidráulico actualmente respecto del de fuego. 167
CAP. II. Porvenir de los motores hidráulicos ..................................... 177

LIBRO V. El aire comprimido ..................................... 189
CAPÍTULO I. El aire comprimido: sus excelencias como agente de transmision de la fuerza á distancia ..................................... 191
CAP. II. Rendimiento del aire comprimido ..................................... 202
CAP. III. Cuestion económica ..................................... 219

LIBRO VI. Las leyes de GAY-LUSSAC y MARIOTTE y la teoría mecánica del calor. 233
CAPÍTULO I. Materia y movimiento en general. 235
CAP. II. Movimiento especial del calor. 278
**Apéndices** I. La estática universal ó la muerte. 296
II. Nueva teoría sobre el calor. 298


# PARTE II.


Nuevos medios de comprimir. 299

LIBRO I. Compresion policilíndrica. 301
CAPÍTULO I. Los émbolos conjugados del sistema diferencial. 303
CAP. II. Teoría de los émbolos conjugados del sistema diferencial. 326
**Apéndices** I. Correspondencia entre el sistema monocilíndrico y el logarítmico diferencial. 346
II. Igualdad de las presiones sobre las coronas. 348
III. Las presiones en funcion de las alturas y de las bases cilíndricas. 349
CAPÍTULO III. Los émbolos intercalares del sistema diferencial. 351
**Apéndice.** Algunas leyes de los émbolos intercalares. 373
CAPÍTULO IV. Formas de los émbolos conjugados del sistema diferencial. 376
CAP. V. Émbolos logarítmicos del sistema no diferencial. 400

LIBRO II. Compresion por inmersion. 407
CAPÍTULO I. Sistema de la inmersion. 409
CAP. II. Teoría del sistema de la inmersion. Auxilio hidráulico. 419
CAP. III. Sustitucion de la profundidad por atmósferas artificiales. 424
**Apéndice.** Aplicaciones. 442

LIBRO III. Compresion foral. 451
CAPÍTULO I. Los Foros simples. 453
CAP. II. Los foros helicoidales. 468
**Apéndice.** Cuestiones cinemáticas. 478
CAPÍTULO III. Teoría de los Foros simples y de los helicoidales. 485
**Apéndice.** Lugar de los centros de gravedad en los Foros simples. 511
CAPÍTULO IV. Conjugacion de los Foros simples y de los helicoidales. 524
CAP. V. Los Foros doblemente diferenciales: conversion de los cilindros conjugados en foros conjugados. 534
CAP. VI. Los Foros celulares. 549
CAP. VII. El auxilio en los Foros celulares. 563
CAP. VIII. Conjugacion de los Foros celulares. 582
**Apéndice.** Tamaño y número en los Foros. 597
CAPÍTULO IX. Compresion sin válvulas. 601
**Apéndice.** Pormenores de construccion. 633

# PARTE III.

TRANSFORMACION de la fuerza del mar en aire comprimido. ............. 641

LIBRO I. Adquisicion de la fuerza del mar.............................. 643
CAPÍTULO I. Aprovechamiento de la fuerza motriz de la marea y del oleaje........................................ 645
CAP. II. Aprovechamiento de la fuerza motriz de las olas..... 653

LIBRO II. Receptores de la fuerza de los mares..... .................. 661
CAPÍTULO I. Preliminares........................................ 663
CAP. II. Receptor de poder creciente. ............. ......... 667
CAP. III. Receptor de lentitud creciente.. .................... 678
CAP. IV. Receptor de lentitud proporcional al incremento de la resistencia.............................. ...... 695
CAP. V. Receptores de poder constante..................... 701
Apéndices I. Utilizacion de la SAGEBIEN............... .......... 726
II. Sistema TOMMASI...................................... 729

LIBRO III. Almacenaje y reparto del aire comprimido.................. 733
CAPÍTULO I. Canalizacion..................... ....... ......... 735

LIBRO IV. Aprovechamiento del aire comprimido...................... 743
CAPÍTULO I. Escaso rendimiento actual de los aero-motores....... 745
CAP. II. Medios de aumentar el rendimiento............. .... 750
CAP. III. Los émbolos diferenciales como aero-motores........ 754
Apéndice. La máquina de aire comprimido respecto de la de vapor. 770
CAPÍTULO IV. Los foros como aero-motores. Produccion directa del movimiento circular contínuo........ ........... 777
Apéndices I. Los aparatos doblemente rotatorios de pala fija, como aero-motores y compresores..... ................ 790
II. Máquinas rotatorias de émbolo elíptico............ .. 794

LIBRO V. Locomocion intratubular........................... .. ... 801
CAPÍTULO I. Propulsion directa por el aire comprimido........... 803
Apéndice. Ascension intratubular........................ . . 808

RESÚMEN............................................................ .... 809

POST-SCRIPTUM............ ........................ 833
ADDENDA............................................ 835
FE DE ERRATAS..... ........................ ......... 861

Esta obra ha estado muchos años en mi memoria solamente y en mi imaginacion. Sus rasgos característicos no han cambiado en tanto tiempo; pero la forma en que va á salir á luz es, en gran parte, resultado de los consejos y de las sabias indicaciones de excelentes amigos mios, á los cuales me complazco en manifestar mi agradecimiento profundísimo, ahora que se me ofrece la ocasion.

Allá, por los años de 1863 y 64, los principios fundamentales de los foros fueron en Cádiz objeto de agradables conferencias con mi amigo, desde la niñez, Sr. D. Evaristo Quijano, antiguo profesor del hoy suprimido Colegio Naval, y despues Jefe del Curso de Estudios superiores para los Oficiales de Marina, establecido en San Fernando. Nuestras conversaciones versaron tambien sobre los medios de comprimir el aire por medio de émbolos de áreas decrecientes, y sobre algunos experimentos que ejecuté con un modelo de foro, bastante imperfecto, construido por aquella fecha.

Tambien tuve entónces conversaciones sobre la compresion del aire, segun ley logarítmica, con el Sr. D. Francisco Peña, antiguo compañero mio en el Observatorio de San Fernando.

Puedo precisar algo estas fechas, porque los aparatos se me ocurrieron poco despues de la Exposicion universal de Lóndres en 1862, y por consiguiente bastante ántes de la de París en 1867.

Animado por las excitaciones de estos y de otros amigos, hice algunos cálculos, demostré que el tránsito de una densidad á su doble es en los gases una cantidad constante, hallé como corolario la compresion logarítmica, determiné el centro de gravedad en los foros, y establecí así la base del cuerpo de doctrina ahora desarrollado. Pero nada escribí, aunque siempre seguia meditando sobre la movilizacion de la fuerza del Mar por el intermedio del aire comprimido.

Y así se pasaron muchos años, ocupado enteramente todo mi tiempo en las tareas parlamentarias, hasta que en 1873 consulté unas dudas que tenia con los Profesores de esta Escuela de Caminos y Canales, Sres. D. Francisco Prieto y Cawles y D. Pedro Perez de la Sala; y, de resultas de aquella conferencia, y de la excitacion de estos señores, mucho más influyente en mi ánimo de lo que podian nunca haber imaginado, cedí, por fin, al deseo de trasladar las ideas principales al papel.

Tan ordenadas las tenia, que la ejecucion fué tarea de los tres últimos meses de inaccion parlamentaria de 1873; durante los cuales me favoreció con dos tra-

bajos referentes al particular, mi buen amigo y antiguo compañero en el Observatorio de San Fernando, Sr. D. Enrique Garrido.

Mi escrito, entónces, (como puede desde luego imaginarse,) era más bien descriptivo que razonado y de carácter matemático. Para conocer su efecto, lo leí en 1874 á dos discípulos mios, los ingenieros Sres. D. José Azopardo y Don Valeriano Mestre; y hube de comprender, por sus observaciones, que necesitaban demostracion geométrica ciertos pasajes del texto, cuya enunciacion me habia á mi parecido de evidencia. Nada, sin embargo, pude entónces hacer por haber salido de España y haber quedado mis libros y papeles detenidos en la Aduana de Badajoz; pero, reintegrado al fin en mi manuscrito, pedí consejo acerca de él á mi querido y discretísimo amigo Sr. D. José Mac-Pherson, Presidente de la Sociedad de Historia Natural, el cual en 1875 estudió el asunto detenidamente, y su fallo fué contrario á mi pereza, decidiendo que en obras de esta clase no es dable omitir los cálculos, ni las demostraciones en que se fundan; por no deber exponerse á *l'usage des gens du monde* asuntos nuevos de esta clase. Confieso que me faltó en aquella época el ánimo necesario para la árdua empresa, y que mucho tiempo se pasó antes de resolverme á acometerla; pero, al cabo, gracias á las amistosas reconvenciones del mismo Mac-Pherson, á ella hube de consagrarme decididamente á fines de 1876 y los seis primeros meses de 1877. Justamente, entónces, llegó á mis manos el rico arsenal de antecedentes y datos contenidos en la inagotable obra de Pernolet, sobre el aire comprimido; y, á consecuencia de su estudio, suprimí el capítulo que á la historia de esta compresion habia yo destinado, apoyándome en las pobres noticias que, atenido á mis propios recursos, habia conseguido allegar; y lo sustituí con la mayor parte de lo que ahora contienen los capítulos I y II del Libro V, de la Primera Parte, utilizando la abundancia increible cosechada por la laboriosidad de Pernolet.

Mientras tanto, mi bondadoso amigo y discípulo Sr. D. Peregrin Mestre y Canale, inteligencia superior é imaginacion de primer órden, me hacia el incomparable favor de irme revisando los cálculos y las demostraciones, á medida que yo iba ejecutando los unos y desarrollando las otras; y á sus advertencias, indicaciones y cooperacion debe mucho este escrito. Mestre, además, me hizo el obsequio, cuando ya me iban faltando las fuerzas, de prepararme, por el método gráfico, los datos que me sirvieron para determinar la curva del auxilio hidráulico en los foros celulares, cap. VII, Libro III, Parte II.

La obra quedó nuevamente terminada á mediados de 1877; pero el año no concluyó sin los descubrimientos portentosos que lo harán siempre de feliz memoria, especialmente el de la licuefaccion de los gases hasta entónces llamados permanentes, y la confirmacion notable—que es su consecuencia—de la teoría dinámica del calor. Naturalmente tuve que introducir grandes modificaciones en lo que ahora es Capítulo II, del Libro VI, de la Parte I, refundiendo casi por completo el que antes lo sustituia, no bien hube estudiado la obra de Raoul Pictet, nunca cual se merece ponderada.

Terminado ya tanto trabajo, quise saber cual pudiera ser su valor; y, como el autor no tiene voz ni voto en el juicio de su obra (1), me atreví á someter

(1) Der Autor hat bei dem Gerichte über seine Werke keine Stimme. Gellert.

mis manuscritos á la decision de la sabia Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de Madrid. El fallo de la Corporacion, prévio informe de su Seccion de Ciencias Exactas, dictado, sin duda alguna, por muy elevado y loable espíritu de benevolencia, no pudo ser mas honroso para mí; tanto, que considero la distincion que la Academia me ha dispensado como la mayor que podia concedérseme, y superior con grande exceso á cuantas otras en mi ya larga carrera he recibido. El lector comprenderá que no exagero al expresarme de este modo, cuando sepa que la Academia, deseando premiar mi asiduidad y constancia, y ponerme en estado de comunicar al público el resultado de mis investigaciones, para que otros, con mayor talento y mejor fortuna, las prosigan y perfeccionen, calificó el libro, que, respetuosamente y sin peticion de ningun género, habia yo sometido á exámen suyo, como de mérito suficiente para figurar en la *Coleccion* de sus *Memorias*.

Honra semejante, que ni yo solicitaba ni soñé nunca en obtener, fué aceptada por mí con el mayor reconocimiento; porque indisculpable soberbia habria sido rehusarla; y porque, sin la generosidad de la Academia, hubiera tenido que renunciar á la publicacion de mi manuscrito.

Al comunicarme su decision, razonada y extensa, me significó la Academia, por vitud de razones muy atendibles, su deseo de que se alterase el órden de la exposicion de las materias contenidas en la obra. Entonces constaba mi trabajo de XXX Libros, en los cuales las ideas científicas generalmente admitidas, concernientes á los problemas cuya resolucion me habia yo propuesto, estaban muy someramente tratadas y mezcladas con las exclusivamente mias, á medida que estas necesitaban de base y fundamento. La Academia deseaba la obra dividida en tres partes: la primera destinada á las doctrinas comunmente profesadas en el mundo científico ó por hombres eminentes sobre las mareas y las olas, el aire comprimido, y las leyes de MARIOTTE y GAY-LUSSAC discutidas á la luz de la moderna teoría dinámica del calor; y las otras dos partes consagradas exclusivamente á los teoremas, principios y medios propiamente mios, referentes á la utilizacion de la fuerza del mar y á su movilizacion por el intermedio del aire comprimido.

Semejante indicacion fué para mí más que una órden, y á efectuar la modificacion apetecida me consagré sin descanso en la primavera de 1879, creyendo al principio que intentarla y conseguirla habian de ser una misma cosa. ¡Ojalá que me hubiera sido dado el acierto! Dejando á un lado vanos alardeos de inoportuna modestia, debo decir, con toda verdad, que no poseo la ciencia necesaria para satisfacer los deseos de la Academia. Los principios científicos que, siguiendo mi plan primitivo, me bastaba recordar ó exponer someramente para que sirvieran unas veces de base y otras de punto de partida á mis conclusiones, no necesitaban entónces de más desarrollo que el puramente indispensable para la debida inteligencia de mi objeto; pero, habiendo de ostentarse solos y aislados, exigian una exornacion expositiva al alcance solamente de los grandes maestros de la ciencia, dotados de mayor saber que el mio. Asi, una modesta fachada es suficiente á un edificio escondido entre otros muchos modestos igualmente; mientras que, aislado como palacio, necesita desde luego solidez mayor, y suntuosidad arquitectónica en sus cuatro frentes descubiertos,

de que antes podia prescindir. La modificacion ha sido ciertamente superior á mis fuerzas; pero no á mi voluntad el intento de complacer á la sabia Corporacion para concurrir por mi parte á los laudables fines que se propone.

Para tantos cambios en la forma he molestado de nuevo á mis bondadosos amigos, Mestre (D. Peregrin), Mac Pherson (D. José), al hermano de este don Guillermo, en quien el conocimiento de las ciencias naturales y su filosofía se auna á eminentes dotes de filólogo y poeta; y al modestísimo sabio D. Enrique Garrido, cuya manera correctísima de exponer, como maestro y conocedor de muchas lenguas, corre parejas solo con su profundidad en el pensar.

Seria yo, pues, muy ingrato si dejase pasar ocasion tan oportuna sin tributar las más sinceras gracias á cuantos han coadyuvado á la realizacion de esta obra, animándome en la tarea con sus advertencias, ilustrados consejos, cariñosas amonestaciones, y aun con trabajos, valiosísimos como los de Garrido y Mestre. Sin el auxilio material y moral que todos me han prestado, nunca hubiera llegado yo á dar cima á mi proyecto, tantas veces comenzado á realizar, y tantas otras abandonado por mil extraños motivos; pues, si atraccion irresistible me impele constantemente á meditar sobre cuestiones dinámicas, ningun aliciente me induce á representar ni describir lo que imagino. Como sin el patrocinio de la Academia, tan honroso para mí, hubieran sido mis afanes estériles y perdidos, en proclamarlo me complazco.

Reciban todos el testimonio de mi más profunda gratitud: cuantos de un modo ú otro, con generosidad inolvidable, han acudido en mi auxilio; y algunos especialmente, á quienes no puedo nombrar, con harto pesar mio, por vedármelo consideraciones poderosas y prohibicion expresa y terminante.

---

IO HO MENO IN MENTE DI PERSUADERE CHE DI FAR PENSARE. Por tanto, mi objeto en esta obra es principalmente llamar la atencion hácia fuerzas hoy sin motivo desdeñadas, y hácia teoremas y medios que me parecen susceptibles de aplicacion. No expongo (lo digo con sinceridad) porque considere perfecto lo que enuncio, sino por si puede lo que escribo sugerir ideas nuevas. Claro es que, al decir esto, me refiero sólo á lo propiamente de mi inventiva, contenido hoy en las Partes II y III de esta obra; y no á lo coleccionado en la Parte I, procedente todo de eminencias científicas, á quienes he procurado seguir fidelísimamente, usando, siempre que he podido, hasta sus mismas expresiones y hasta sus mismos giros, por no exponerme á decir mal lo que ellos habian ya acertado á decir soberanamente bien. Sin embargo, el lector que no conozca los originales (pues para quien los conozca huelga la Primera Parte), hará mal en contentarse con los empañados reflejos que de tanta luz me es dable llevar hasta sus ojos; antes bien deberá ir al foco mismo, sí, como GOETHE, suspira siempre por MÁS LUZ.

---

En la impresion de esta obra, por obstáculos que no han podido salvarse, se ha invertido mucho más tiempo del que en un principio se pensó. Así es que, al terminarla, pertenecen al pasado muchos de los hechos que, al escribirla, eran del porvenir; y, para no citar más que un solo ejemplo, observará el lector que siempre en el texto se habla del túnel del Monte de San Gotardo, como de una empresa aún por terminar; siendo así que el encuentro y la feliz coincidencia de sus dos largas galerías corresponde, hace ya meses, á los triunfos asombrosos de las modernas colosales construcciones. De aquí la necesidad del POST-SCRIPTUM que pone término á la obra, y en el cual se completan, ó amplian, ó adicionan, hechos, principios ó doctrinas que lo habían menester (1).

---

El tono de las partes II y III es constantemente condicional y condicionado. En vez de decir «SI SE ADOPTASEN TALES MEDIOS, ES DE SUPONER QUE APARECIERAN TALES RESULTADOS», hubiera yo querido siempre aseverar categóricamente que «HECHA TAL COSA, RESULTARÁ TAL OTRA»; pero la prudencia científica me ha prohibido hacer afirmaciones absolutas, no porque no tenga yo fe en los resultados, sino porque, hasta ahora, me ha sido imposible interrogar á la experiencia; y solo la experiencia, tras éxitos indubitables, autoriza para exclamar:

¡Feliz quien deja al morir
algo más que halló al nacer!

Y, sin embargo, para mí es de gran satisfaccion el pensar que, si no he logrado el acierto, quizás, estimulado alguno por mi ejemplo, ó contagiado por mi fe, pondrá un dia en accion ese inmenso poder que ahora duerme en la arena de las playas, agitado inútilmente por tempestuosas convulsiones, hasta que, alguna vez despertado á la vida de la Humanidad, distribuya pródigamente sus hercúleas fuerzas por medio de un agente fácil de conducir, y sencillo de manejar, listo siempre para el trabajo y regularizable en toda proporcion, abundante, incansable; instantáneo en ponerse á la obra é instantáneo en suspenderla, higiénico, pulcro, tan propio para el trabajo subterráneo como para el trabajo al aire libre, dócil, humilde y potentísimo.

Muy poco sé leer en el libro de los secretos infinitos (2); pero, aun concediendo que la práctica no sancionase algunas de mis esperanzas, siempre me anima una consoladora creencia en que los que nada hacen no lanzarán invecti-

(1) El Lector deberá pasar al POST-SCRIPTUM al llegar á las páginas del texto que se citan á continuacion 7, 100. 103, 168. 174, 193, 194, 195, 196, 223, 230, 239, 246, 250, 252, 256, 257. 267, 269, 270, 273, 278, 732.

(2) In Nature's infinite book of secrecy
A little can I read.

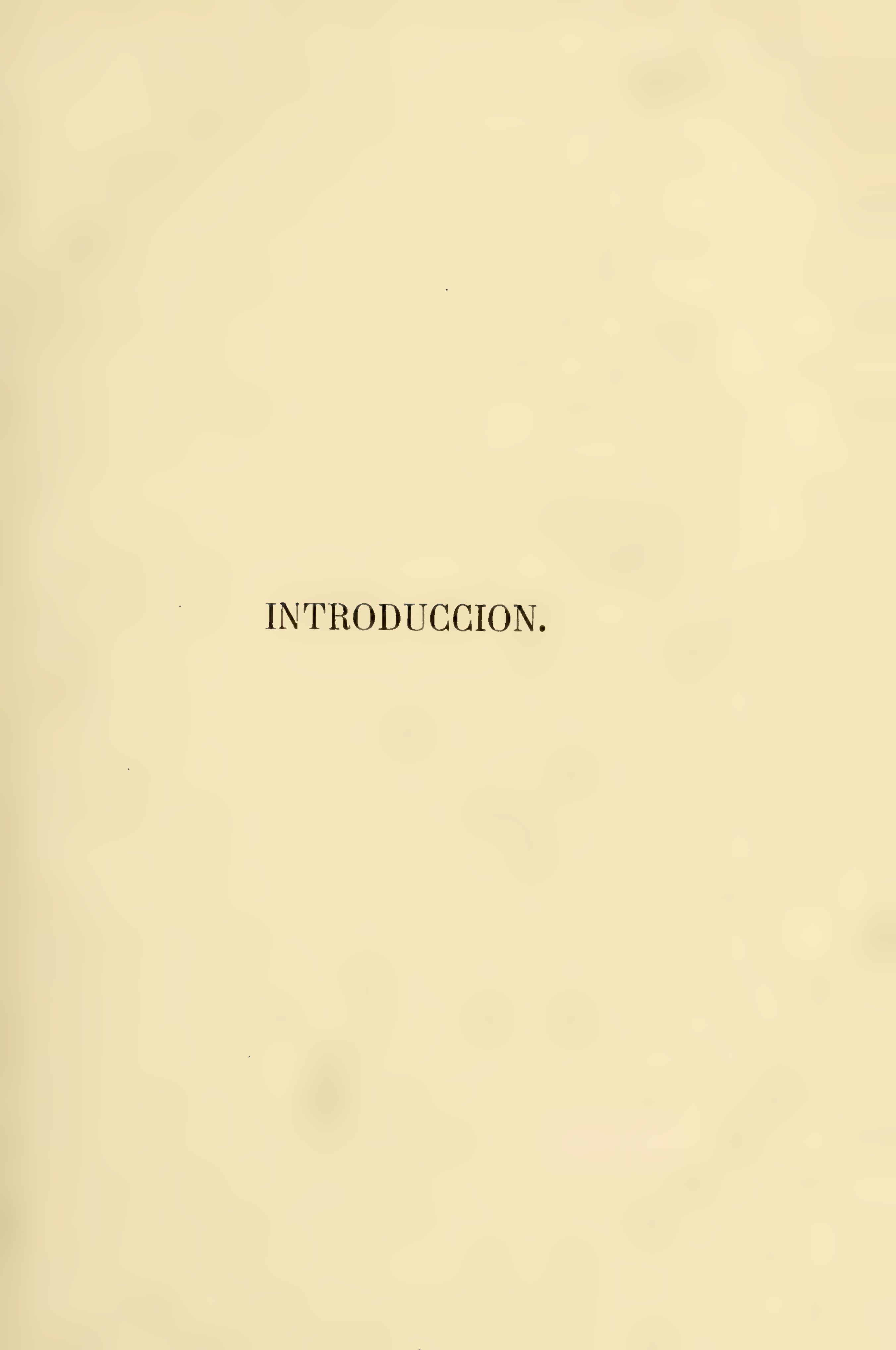
SHAKESPEARE. *Antony and Cleopatra.*

vas contra mi laboriosidad, que ningun daño les hace, y en que los que trabajan y saben cuánto y cuánto cuesta el producir, no menospreciarán mis tentativas; que no es de sabios desdeñar las obras de ningun trabajador, por humildes que aparezcan ó desprovistas de aplicacion inmediata; y mucho ménos despreciar las indicaciones que puedan sugerir nuevas posibilidades, ocultas aún entre nieblas allá en el horizonte de lo ignoto; pues les consta que la limitacion es un mito y

que l'idée en travail ébauche l'avenir.

E. Benot.

Mayo 1 de 1881
en Madrid.



# INTRODUCCION.

Cuando el hombre científico de la época actual contempla el acueducto de Segovia, no puede ménos de admirar el inmenso talento de la ignorancia.

Por allí ciertamente pasó hace 2000 años el Genio de las grandes construcciones. El acueducto está fundado sobre granito, y hecho de granito; pero los Romanos buscaron á dos leguas de distancia el que habia de servirles para la construccion, porque sabian que el granito sobre que iban á edificar no se opone á la accion secular de los agentes atmosféricos con la misma tenacidad con que resiste el que fueron á buscar á cantera más distante. Además, ¡cuánta inteligencia no necesitaron desplegar aquellos antiguos arquitectos! ¡Qué poder de organizacion para disponer los trabajos, proporcionar alimento á los operarios, y dirigir las obras á determinado objeto: el abastecimiento permanente de abundantes aguas potables de una gran poblacion!

¡Y todo, sin embargo, para un fin que la edad presente habia de ejecutar de modo bastante más sencillo!

Hoy, por medio de adecuados tubos perecederos, y en virtud de la teoría de los vasos comunicantes, se habria realizado la conduccion de las aguas: que la época moderna no gusta, como la antigua, de levantar monumentos inquebrantables para desafiar al tiempo, ni confia sus fastos al bronce incorruptible, sino al deleznable papel, fácilmente reemplazable. Por conductos de hierro forjado, casi de una legua de longitud, salva el agua una profundidad de más de 260 metros en las actuales minas de Cherokee (Estados-Unidos de la América del Norte).

La ciencia moderna, á mi entender, procede, en muchos casos, como la de los antiguos arquitectos de Roma; y tengo para mí que dentro de algun tiempo ha de causar la misma impresion que el acueducto de Segovia produce al ingeniero de nuestros dias, el uso y el abuso que en la actualidad se hace de las máquinas de fuego.

Con razon, sin duda alguna, trae alarmados á los hombres de la industria y de las artes mecánicas la escasez de combustible que el mundo ha de experimentar dentro de poco. «No hay—dice uno—carbon de piedra, en las entrañas de la tierra, suficiente para alimentar sólo las locomotoras durante cinco siglos.»—«Hay para 600 años»—dice otro.—«Mucho ménos»—exclama aquél.—«Mucho más, incomparablemente más—prorumpe éste:—solamente los depósitos de la China bastarian por 2.000 años á las necesidades del mundo.»

Pero, de cualquier modo que la cuestion haya de juzgarse, ello es indudable que el combustible fósil ha de tener algun dia lamentable fin, y que el término está relativamente próximo, atendidas las exigencias de la industria y los adelantos de la civilizacion; pues, por muchas que sean las perfecciones introducidas en los futuros mecanismos donde el vapor desarrolle su fuerza motriz, y por grandes que resulten las economías de combustible que esos perfeccionamientos logren realizar, el genio humano no puede ya detenerse en su carrera de transformacion del planeta, y tiene que consumir mucho más que economice, si quiere, por medio del calor, dejar en seco el Zuyder-zee, atravesar el istmo de Panamá, inundar parte del Sahara, y continuar sin tregua ni reposo perforando montes, levantando valles, encauzando torrentes, saneando comarcas, y difundiendo el bienestar y la instruccion por el universo, hasta hacer una sola familia de todo el Género Humano.

¡FUERZA! ¡FUERZA!

Este es hoy el grito de la Humanidad.

La creciente riqueza de una nacion depende del incesante incremento de la fuerza motriz.

Y bien: la FUERZA abunda.

Pero el hombre no quiere pedirla con preferencia más que á la combustion del carbon escondido en las entrañas de la tierra.

Y esto es, á sabiendas, despilfarro.

¿Y el MAR?.... ¿Y los VIENTOS?.... ¿Y el CALOR INTERNO del planeta?.... Donde quiera que haya una fuerza latente todavía, debe inmediatamente aprovecharse; más que por lo que ella pueda valer en sí, por la multitud de industrias beneficiosas que el nuevo aprovechamiento tiene de traer consigo, en virtud de una ley admirable é ineludible de la mecánica económico-social.

Yo, desde niño, he visto en el Océano LA FUERZA DE LAS FUERZAS. ¡Cuántas veces, *ingenti motu stupefactus aquarum*, al contemplarlo embravecido, y al sentir temblar las rocas en que sus olas se estrellaban, cubriéndome de rabiosa espuma, me representaba al toro salvaje de las edades primitivas, incapaz de arrastrar el arado y fecundar el seno de la tierra! Olas del mar, ¿jamás sereis domadas? exclamaba en mi interior.

Y, al observar que la Luna, ya estuviera el mar tranquilo, ya estuviera irritado, llenaba dos veces cada 24 horas, y otras dos veces vaciaba, la inmensa

bahía de Cádiz — mi pueblo natal — no podia yo ménos de preguntarme con asombro: ¿cuántas máquinas de vapor se necesitarian para hacer esta obra de titanes? Tan colosal potencia ¿por qué no se utiliza en beneficio de la Humanidad? ¿No contiene en sí LA FUERZA DE LAS FUERZAS esta inmensidad de agua, dos veces levantada, y otras dos veces deprimida cada 24 horas? ¿Lleva algo la Luna por dar cima á esta tarea? ¿No son grátis el flujo y el reflujo, «fuerzas que jamás descansan?» ¿No está en las mareas el desideratum de los utopistas, el movimiento contínuo? Pues si las mareas son el movimiento perpétuo, ¿hay más que echarles mano? ¿No es la mayor de las aberraciones el no querer utilizar, DE UN MODO CONTÍNUO Y SISTEMÁTICO, este inmenso tesoro de potencia inextinguible?

Yo imagino que no hay FUERZA PERMANENTE Y ESCLAVIZABLE como en el mar.

Y estoy cierto de que algun dia la Humanidad se reirá de nosotros por haber descendido al seno de la tierra, fuera de lo necesario, en busca de carbon, cuando teníamos en la superficie más todavía de lo que en sus entrañas hay. El diamante negro tendrá fin; pero ¿cuándo lo tendrá el movimiento de las aguas en las orillas del mar?

No es esto decir que se abandone el carbon de piedra. No: ¿quién ha dicho que el progreso significa ostracismo ni excomunion? No: el progreso no quiere decir abandono, sino aumento, acúmulo, amplificacion: que el fusil de aguja moderno no ha hecho olvidar la honda primitiva; ni la hélice ha pretendido desterrar el remo; ni la locomotora ha declarado inútil al caballo; ni los frutos coloniales han hecho prescindir del antiquísimo pan.

Se trata de dominar una fuerza ahora indómita.

Los depósitos de carbon pueden agotarse; pero el movimiento de los mares, dependiente de causas cósmicas, durará lo que dure el estado actual de nuestro mundo.

¡Plateada llaman los poetas á la luna! Pues aunque fuera de maciza plata, no valdria tanto el satélite como vale su eterno movimiento.

En las inmensas extensiones oceánicas del hemisferio austral produce constantemente nuestro satélite, ayudado ó contrariado por el sol, una gigante intumescencia de las aguas; y la tierra, en su rotacion cuotidiana, origina una inmensa onda líquida, que se dirige hácia el Norte, en el Atlántico, por las costas de Africa y de Europa con una como velocidad planetaria, que puede llegar á 900 kilómetros por hora.

Este movimiento incalculable, luego ramificado en ondas de localidad, es el orígen de nuestras mareas.

La presion barométrica, los vientos, los choques contra las costas, las dife-

rencias de profundidades del mar, la friccion con los fondos..... producen las turbulencias de las olas.

Y ¡qué vergüenza! ¡Esta perpétua fuente de movimiento, que durará cuanto duren en nuestro globo las causas siderales que lo mantienen en su presente estado, resulta completamente perdida para la Humanidad y para la Civilizacion!

Pero ¿cómo aprovecharlo? ¿Quién se atreveria á mover una filatura con las olas del mar? Indudablemente las olas son fuerza; pero ¿quién doma á esta fiera? Cierto que las mareas son agua en movimiento; pero ¿hay algo más irregular?

Y yo pregunto: ¿hay algo más irregular que el movimiento de la mano que da cuerda á un reloj? ¿Y hay algo en la industria más regular que la marcha de un cronómetro?

El problema consiste en transformar las fluctuaciones irregularísimas de las mareas en la accion regular de los mecanismos industriales.

Y obsérvese que la embestida huracanada de las olas tempestuosas es más regular todavía que la rotacion desordenada de los dedos que dan cuerda al cronómetro.

¿Y la ciencia no ha de conseguir de las mareas lo que el hábil relojero ha logrado de las manos?

Creo que es hasta fácil el problema. Y no se me tache de presuncion. Nada de eso. Un enano en los hombros de un gigante puede ver más extenso el horizonte (1).

Indudablemente el hombre, trabajando un pequeño rato, es quien suministra, de un modo irregular, la tension del muelle, que luego mueve, con la regularidad de los astros, el rodaje cronométrico.

Y ¿en qué consiste esta especie de maravilla, que no nos pasma de admiracion porque es diaria? Pero ¿hay álguien que lo ignore?

Sencillamente estriba en almacenar la fuerza irregular de algunos músculos en un receptor elástico que luego la devuelva íntegramente: en el muelle del reloj.

Pues bien: almacenemos nosotros en un muelle la FUERZA DE LAS MAREAS, y hasta la FURIA de los vientos desatados que producen las olas de la tempestad. Procedamos como el relojero, y busquemos ese muelle, sin reparar en lo que cueste su adquisicion.

Pero, por dicha, el aire atmosférico es la perfeccion de la elasticidad. Nada cuesta, y se halla profusamente donde quiera que movemos nuestra planta.

A su elasticidad solo acaban de reconocer límites los grandiosos experi-

---

(1) Felicísima expresion de Grove.

mentos de Pictet y Cailletet, y las fuerzas que en él almacenemos, si sabemos hacerlo científicamente, nos serán devueltas como un depósito sagrado.

Pues á la obra, olas del mar; al trabajo, mareas del Océano. Sea la que fuere vuestra irregularidad, comprimid aire. ¿Qué nos importará vuestra bravura? Mientras mayor sea vuestra fiereza, mayor trabajo hareis. Lo sensible será para la Industria que la superficie de las aguas esté tranquila, y que las mareas oceánicas sean mareas muertas. Invadan é inunden, pues, las playas; y ¡ojalá que la Luna girase con más velocidad en su órbita alrededor de nuestro planeta, repitiéndose así las sizigias con frecuencia mayor!

¡Mar, al trabajo, para que donde quiera el aire comprimido are nuestros campos, mueva nuestros talleres, transforme nuestras comarcas, las irrigue, las sanée, las canalice, y lleve á todas partes la abundancia de nuestras cosechas y la bendicion de nuestros artefactos!

Y LA FUERZA DEL MAR se sienta en todas partes.

Y como el agua y la luz se reparten á los habitantes de nuestras grandes poblaciones, por cañerías y conductos subterráneos, así, por tuberías enterradas, se distribuya la fuerza á domicilio.

Y no gane el HOMBRE la vida, como la BESTIA, con el sudor de sus fibras musculares, sino que deba su sustento á la habilidad de sus manos, á la inventiva de su inteligencia, y á la fuerza de su razon (1).

---

(1) La idea de trasformar la fuerza del mar en aire comprimido ha sido propuesta en 1869, con mucho ingenio, por FERDINAND TOMMASI.

Yo no lo sabía, pero de ello me dió noticia el Sr. D. PEDRO PEREZ DE LA SALA, Ingeniero-Jefe, Profesor y Bibliotecario de la Escuela de Caminos y Canales.

Tambien yo ignoraba que se hubiese ya propuesto la utilizacion en gran escala de las olas del mar, aunque directamente y no por medio del aire comprimido. El Sr. D. F. RUIZ LEON publicó al efecto un sistema completo en el *Scientific American* del 22 de mayo de 1869, un ejemplar del cual se ha servido facilitarme mi amigo el Sr. D. RAMON MAURELL, Ingeniero industrial.

De ambas invenciones hablaré en el lugar oportuno.

# PLAN DE LA OBRA.

Si el objeto de este trabajo es principalmente proporcionar medios de recoger y movilizar las fuerzas del mar, comprimiendo, á este fin, el aire atmosférico, ¿no será oportuno, ó cuando ménos cómodo, tener á la vista los principios científicos que deban servir á la resolucion del problema? ¿Qué son las mareas, pues? O bien, ¿qué es lo que de ellas se sabe? ¿Qué conocimientos tenemos de las olas? ¿Cuáles son las leyes de la compresion del aire? ¿Cuáles sus aplicaciones? Y, puesto que en la época actual las empresas industriales desdeñan trabajos no productivos de beneficiosa renta al capital, ¿no será conveniente averiguar si la utilizacion de la inmensa é inagotable fuerza del Océano presenta probabilidades siquiera de razonables rendimientos? ¿No será tambien oportuno averiguar si la fabricacion del aire comprimido es barata ú onerosa?

Hé aquí los asuntos de que tratará la primera parte de esta obra, en la cual compilaré, lo más metódicamente que me fuere posible, cuanto sobre el asunto he logrado allegar y recoger de los mejores autores, sin atreverme á otra cosa, y eso rara vez, que á agregar algunas indicaciones mias sobre esa materia inagotable (1).

¿Cómo se comprime el aire en la actualidad? ¿Cómo parece conveniente comprimirlo, dada la naturaleza irregularísima de la fuerza motriz de las mareas y de las olas?

---

(1) Alles worin man sich ernstlich einlässt, ist ein Unendliches.—Goethe.

En la segunda parte de este estudio trataré problemas tan complicados, desarrollando en todos sus detalles los varios teoremas y múltiples soluciones cinemáticas que han acudido á mi imaginacion, distintos de los que se hallan en uso actualmente.

Dada ya la existencia de nuevos medios para comprimir el aire (independientes por supuesto de toda fuerza motriz), ¿cómo aprovechar la especialísima y *sui generis* de las mareas y las olas? Y, ya conexionada con los medios de compresion, potencia tan excepcional é inextinguible, ¿cómo se utilizará el aire que resulte percondensado por su agencia?

En una tercera parte describiré los receptores especiales que me han ocurrido para recoger la FUERZA DEL MAR, trasformarla luego en aire comprimido, movilizarla y distribuirla despues, y, al fin, utilizarla en los centros de la industria.

# PARTE PRIMERA.

## PRELIMINARES

SOBRE

## LA FUERZA DEL MAR Y LA CONVERSION EN AIRE COMPRIMIDO.

# LIBRO I.

## LAS MAREAS EN GENERAL.

Las mareas son una fuerza sumamente irregular de los grandes Océanos (1). En nuestras costas españolas del Atlántico nunca se elevan las aguas en las pleamares mayores á la altura de 5 metros, mientras que en Saint-Maló (Francia) suben algunas veces más de 12; en el canal de Bristol casi 20; más aún en la bahía de Fundy (Canadá, entre New-Brunswick y Nova-Escotia), donde, segun muchos autores, se verifican las mareas más altas del mundo; en la costa de Chile solo se levantan 2 metros; en el Seno Mejicano es apenas sensible la marea; que las elevaciones y depresiones de las grandes superficies marítimas en el Ecuador no llegan á 1 metro por término medio general.

Los vientos estorban ó favorecen el flujo y el reflujo, tanto que en Buenos-Aires la diferencia puede llegar á $3\frac{1}{2}$ metros. En un punto de Inglaterra, durante una borrasca deshecha el 8 de enero de 1869, no hubo pleamar, fenómeno único en su especie recordado por los autores.

La presion barométrica tambien influye en la altura 1 ó 2 decímetros, y á veces más. En Brest, una depresion de 25 milímetros en el barómetro, se traduce por una elevacion de 40 centímetros en la pleamar; en Liverpool por una de 25 centímetros, y en Lóndres por otra de 17: en general, á barómetro bajo, altura mayor de la comun en la pleamar. Regularmente, segun Dansy, á 1 milímetro en la columna de mercurio, corresponden, inversamente, 14,7 en la marea, como promedio de un gran número de observaciones. En Cartagena las variaciones del barómetro se hacen muy sensibles. Hasta en el mar Báltico, en el lago Superior, en el Mediterráneo..... donde las mareas son muy poco notables (2), se perciben bastante los efectos del viento y de las fluctuaciones del barómetro, especialmente en los golfos angostos del Adriático y en el Estrecho de Messina, donde las mareas son fácilmente perceptibles.

En Llanes (España, Oviedo) dura el flujo lo mismo que el reflujo; en Riva-

---

(1) Verdaderamente el Atlántico, el mar Artico y el N. del Pacífico son grandes golfos del Océano único del hemisferio del Sur.

(2) Véase el apéndice. Desde la apertura del istmo de Suez se notan más las mareas mediterráneas, con particularidad al Oriente y al centro.

desella crecen las aguas 8 horas, y menguan 4; en Tinamayor invierte la creciente solo 2 horas, y muchas la vaciante; frente á la villa de Avilés la creciente dura 8 horas, y la vaciante $4\frac{1}{2}$, y además en esta villa son muy notables los efectos del viento cuando sopla del tercero ó del cuarto cuadrante, pues llegan hasta 5 metros las mareas vivas, que regularmente no pasan de $3\frac{1}{2}$. En Brest (Francia) el mar emplea 16 minutos más en el movimiento de subida que en el de bajada; en el Havre (Francia) la marea alta permanece estacionaria una hora, y durante otra solo varía de 8 á 10 centímetros (1).

En la isla de Haiti (Océano Pacífico del Sur) es la marea de 1 á 4 de la tarde. En las islas de la Sociedad la marea alta es invariablemente á medio dia y á media noche, y la altura y la depresion son tan uniformes, que los habitantes, en vez de preguntar *qué hora es?* preguntan *qué agua hay?* Tanta es la regularidad, que les sirve de reloj (2).

Donde existen dos mareas diarias, la diferencia entre dos consecutivas suele ser solamente de decímetros. Sin embargo, hay parajes en que es muy considerable esta diferencia, como sucede en Singapur (3).

En la bahía de Manila no hay más que una pleamar y una bajamar cada 24 horas, excepto dos ó tres dias despues del primero y del tercero cuartos de la luna, y en los dias de una sola marea bajan las aguas durante 6 á 7 horas, y están subiendo de 18 á 19; el dia de la conjuncion la primera marea alta se verifica á las $10^{h.}$ $23^{m.}$ despues de medio dia, y las aguas suben de 6 á $7\frac{1}{2}$ piés sobre el nivel de la marea baja de sizigia equinoccial: la segunda marea ocurre de 11 á $12^{h.}$ despues; pero el mar, en una primera ascension, se eleva solo como 1 metro, entonces se paran las aguas, y se quedan así estacionarias, hasta que al cabo de 2 ó de 3 horas empiezan de nuevo á subir la altura que les corresponde, desde donde se repiten los mismos fenómenos en los dias siguientes (4).

En Mindanao se observan grandes diferencias respecto á la marea en puntos no distantes: Davas, puerto el más oriental de las observaciones hechas en 1876, siempre tuvo dos mareas por dia lunar; en Pollok, que le sigue en situacion, faltó una de las mareas durante tres dias solamente; en Zamboanga se hizo ya más sensible la falta, pues se observó durante 16 dias; y por último, en La Isabela se acentuó tanto, que fueron más los dias de una sola marea que los de dos. Además, al acercarse las cuadraturas próximas á los equinoccios, era tal la desigualdad diurna en las horas de las bajamares de Zamboanga, que entre la creciente y la vaciante de la mayor pleamar se pasaban 18, 19, 20 ó más horas, y solo 7, 6, 5..... entre la creciente y vaciante de la menor pleamar (5).

---

(1) Estos datos están principalmente entresacados del *Almanaque marítimo* para 1869, por el Sr. D. Martin Ferreiro (del Dep. Hidrog. de la Marina).

(2) Arcimis, *Telescopio moderno.*

(3) Fernandez Fontecha, *Astr. Náut.*

(4) Claudio Montero, *Anuario de la Direccion de Hidrografía*, año 1.

(5) Datos de la memoria del capitan de fragata D. Fabian Montojo sobre las mareas de Mindanao.

En el puerto de Tonquin, entre China y Cochinchina, hay una marea cada 24 horas. La creciente empieza cada dia unos tres cuartos de hora despues que el anterior, de modo que á los 15 dias está atrasada la pleamar desde la una de la tarde hasta las doce de la noche, despues de lo cual no sigue el mismo atraso, sino se adelanta de dia en dia, hasta coincidir con la hora del paso del sol y de la luna por el meridiano. Desde marzo á octubre la pleamar sucede despues de mediodía, y en los meses restantes antes.

En la costa de Inglaterra, desde Portland hasta Southampton, presentan las mareas el fenómeno de dos pleamares sucesivas, con muy corto intervalo.

En el puerto Poole (Inglaterra) hay cuatro mareas al dia, de modo que la creciente dura 3 horas, y otras tantas la vaciante.

Regularmente las mareas equinocciales son las más pronunciadas del año; pero en Manila las solsticiales son más altas.

Todas estas diferencias tan notables, y muchas otras más extraordinarias todavía para los que están únicamente acostumbrados á los fenómenos de alguno solo de los puertos donde el mar sube y baja dos veces cada 24 horas, son resultante compleja de la multitud de causas y concausas que gobiernan las mareas.

Hasta hace muy pocos años no se daba explicacion ni aun de la generalidad de los fenómenos: que ni los conocimientos astronómicos, ni los datos de la geografía, ni las leyes de la física, ni los métodos matemáticos aplicados á los hechos eran suficientes á elaborar una teoría satisfactoria.

Hoy los fenómenos están ya mejor deslindados y metódicamente distribuidos, y, á mi entender, los problemas á que el estudio de las mareas da lugar, pueden hallar una buena clasificacion en los tres grandes grupos siguientes:

Génesis de la Marea,

Mecanismo de su Propagacion,

Y esencia de su Energía.

# CAPÍTULO I.

## CUESTION ASTRONÓMICA.

### I.

Desde muy antiguo vislumbraron los observadores una gran conexion entre los fenómenos del flujo y del reflujo, por una parte, y las culminaciones del sol y de la luna, por otra. Las de la luna con especialidad se hicieron más patentes que las del sol (1).

En efecto, muy poca atencion al fenómeno de las mareas basta para hacer ver que en nuestras costas Atlánticas las pleamares se producen, en general, cada 12 horas 25 minutos; y las bajamares consecutivas en iguales intervalos de tiempo; de modo que cada gran depresion oceánica se verifica unas 6 horas 12 minutos despues de la mayor elevacion inmediatamente anterior.

Descubierta la América, y explorados todos los mares, bien pronto se supo que (en general y prescindiendo de particulares casos) habia casi al mismo instante dos pleamares diametralmente opuestas en un mismo meridiano; de manera que si la tierra estuviese toda cubierta de agua, y solo una isla se irguiera sobre los mares, un observador situado en el pico sobresaliente creeria ver á la marea venir de Este á Oeste con una velocidad de 1.666 kilómetros por hora, ó 463 metros por segundo: este observador encontraria una segunda pleamar á las $12^h\ 25^m$ de haber pasado por la primera; y en los espacios de tiempo intermedios habria dado con la correspondiente bajamar, etc. (2)

---

(1) Se sabe que Pytheas de Marsella, griego, 320 años antes de Jesucristo, habia observado las mareas en Inglaterra, y parece que las habia atribuido á la luna, segun se desprende de Plutarco. Strabon dice, conforme á Posidonio, que el movimiento del Océano imita al de los cielos, pues presenta un movimiento diurno, uno mensual y otro anual; que las elevaciones y depresiones son mayores en los novilunios y plenilunios..... Julio César, en los *Comentarios*, al referir el paso del canal de la Mancha, habla de la accion de la luna como de cosa conocida.

Plinio y Séneca atribuyeron el fenómeno á la accion combinada del sol y de la luna; *Verum causa in sole lunaque*, dice Plinio. Lucano en su *Pharsalia* habla de las playas inciertas de Francia, que pertenecen unas veces á la tierra, y otras pertenecen á la mar: Lucano indica como causas el viento, el sol y la luna; mas él se resigna á la ignorancia que «los dioses han querido imponer á los hombres.»

Sin hablar de las causas de las mareas, menciona ya Herodoto las del mar Rojo. Tambien habla de esos movimientos del mar Diodoro de Sicilia. Quinto Curcio pinta la admiracion de Alejandro cuando vió los estragos del pororoca en el Indo, etc.

(2) *English Cyclopædia.*

Ahora bien: el intervalo entre dos culminaciones sucesivas de la luna se verifica en un espacio oscilante entre $24^h\ 40^m$ y $25^h$; y así, el tiempo que média entre cada dos pleamares seguidas tiene evidente conexion, ó por lo ménos coincide algo con las apariciones diurnas de la luna. Además, en algunos puertos la pleamar concurre precisamente con el tránsito de nuestro satélite por el meridiano: verdad es que en otros precede á la culminacion (1), y en los más se verifica despues.

En Ostende, Blankenberg, Roompot, Ipswich, Lough, Killyleagh, Kircubbin, Quoile, Wrabbness, etc., etc., la pleamar casi coincide con la presencia de la luna en el meridiano. En Glasgow y en Greenock regularmente precede la pleamar al tránsito del satélite (2). Pero semejante anticipacion es fenómeno relativamente raro.

Constantes observaciones han demostrado que, en general, y prescindiendo de multitud de anormalidades, las mareas máximas de sizigias se verifican en nuestras costas de España unas $36^h$ despues de la conjuncion ú oposicion del sol y de la luna, pero en Lóndres se retardan $60^h$, en la costa O. de Irlanda 48, y en la costa S. O. de la misma isla 44 (3). En Manila unas veces la pleamar se anticipa al paso de la luna, y otras veces se retrasa durante el mes lunar (4).

## II.

Además de las periódicas variaciones diurnas de la altura de los mares, bien pronto hubo tambien de notarse periodicidad en otras variaciones de altura cada mes, dependientes de la situacion de los dos grandes luminares.

En un mismo lugar, á la luna nueva y á la luna llena (es decir, cuando

---

(1) Esta es solo *apariencia de precesion*, como despues se verá.

La llamada edad de la marea, ó sea el retraso de la hora en que la pleamar de sizigia se verifica y el dia en que sucedió la sizigia, expresa el tiempo invertido por la onda en llegar á nuestras costas desde el inmenso mar del Sur. Este retraso es distinto del que se llama establecimiento de puerto.

Llámase establecimiento de puerto el retardo de la mayor marea respecto del paso de la luna por un puerto en los equinoccios, retardo que no es el mismo para cada localidad, pero sí constante para cada una.

Téngase aquí presente que se habla de los retardos periódicos, porque accidentalmente suele anticiparse tambien ó retrasarse el gran flujo, segun reinan vientos más ó ménos favorables á su ascenso ó descenso, así como, por la misma causa, aumentar notablemente la intensidad ó neutralizar su accion.—(FERREIRO, *Almanaque Marítimo* para 1868.)

(2) Estos datos están compulsados en varios autores, pero con mayor especialidad están entresacados de *The English Cyclopædia* y del segundo *Anuario de la Direccion de Hidrografía*.

(3) Para hallar este retardo en cualquier localidad, basta observar el dia y hora en que sucede la marea de mayor elevacion próxima á una sizigia, y la diferencia entre esta hora y la del paso de la luna por el meridiano el dia de la conjuncion, será el retardo que se busca. (*Anuario de la Direccion de Hidrografía*, año II.)

(4) FRANCISCO CARRASCO, CLAUDIO MONTERO, *Anuario de la Direccion de Hidrografía*, año V.

los centros del sol, de la luna y de la tierra se encuentran aproximadamente en un mismo plano, ó sea en las sizigias), las aguas de los mares se elevan y deprimen mucho más que en los restantes dias del mes lunar; y, así, en la época de las sizigias, se dice que las mareas son mareas vivas.

Entre luna nueva y luna llena (ó entre luna llena y luna nueva), esto es, en las cuadraturas, cuando la línea tirada del sol á la tierra forma ángulo recto, aproximadamente, con la que va de la tierra á la luna, esas elevaciones y depresiones de las aguas son notablemente ménos pronunciadas que en las sizigias, y entonces las mareas se denominan mareas muertas.

La amplitud, pues, de la marea va aumentando considerablemente desde las cuadraturas á las sizigias, y disminuyendo desde las sizigias á las cuadraturas.

## III.

Pero no todas las mareas de sizigias son iguales.

La experiencia hace ver que las mayores mareas suceden generalmente hácia las épocas de los equinoccios, y las menores en los solsticios, por lo que á las mayores mareas del año se las suele llamar mareas equinocciales.

Vemos, pues, que en las mareas hay que estudiar:

Las variaciones en altura diurnas,

Las mensuales,

Y las anuales;

Sin olvidar que, como antes se ha dicho, en todos estos fenómenos la direccion y la fuerza de los vientos y la presion atmosférica, suelen alterar considerablemente los resultados medios de largas y seguidas observaciones.

## IV.

Difundida la doctrina de la gravitacion universal, se creyó fácil la explicacion de casi todos los fenómenos de las mareas DIURNAS, MENSUALES y ANUALES.

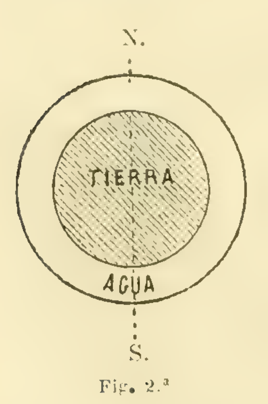


Fig. 2.ª

Estando la tierra cubierta por las aguas, y no habiendo atracciones del sol ni de la luna, la parte líquida sería concéntrica de la sólida, por no haber, en tal suposicion, masas perturbadoras de la atraccion del centro de la tierra. Claro es que, por el movimiento de rotacion de la tierra causador de los dias y las noches, no podria afectar la forma regular esférica la parte sólida del planeta ni tampoco la fluida; pues los efectos de la fuerza centrífuga harian tomar á ambas masas la forma de un esferoide, mas ó ménos regular, achatado por los polos. Pero, existiendo, además de esta causa de perturbacion constante de parte de la fuerza centrífuga, atracciones de todos los cuerpos celestes entre sí, la de la

luna, con especialidad, debia llamar hácia su centro el agua de los mares, por lo cual estos tomarian la forma de un elipsoide.

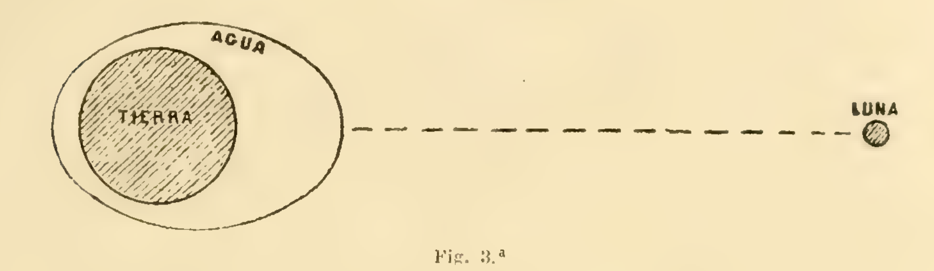


Fig. 3.ª

Pero, como la atraccion no podia limitarse al agua solamente, puesto que la luna tambien habia de llamar hácia sí toda la masa de nuestro planeta, esto haria por necesidad que la tierra se colocase hácia el centro de las aguas, tomando, por consiguiente, esta posicion (1).

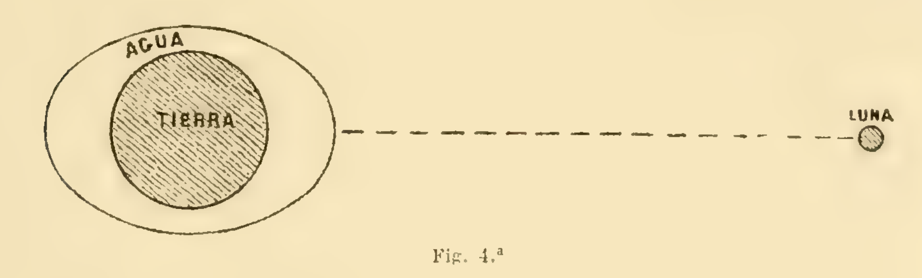


Fig. 4.ª

La teoría supondria, pues, que la intumescencia más próxima á la luna habia de ser más alta que la intumescencia más distante, y que apenas habian de ser sensibles las mareas en los polos: suposiciones ambas que no están conformes con la realidad de los hechos observados, si bien es cierto (en general, y pasando por alto el sinnúmero de anormalidades patentizadas por la experiencia) que existen casi simultáneamente dos pleamares y dos bajamares á la distancia de $12^h$ $25^m$.

Lo dicho respecto de la luna debe tambien entenderse respecto del sol, con la sola diferencia de la intensidad de los fenómenos, toda vez que la atraccion

---

(1) Brande dice:

«La atraccion de la luna sobre las moléculas del agua oceánica más próximas al satélite, debe disminuir la gravitacion de las mismas hácia el centro de la tierra; y, por consiguiente, si estas moléculas tienen libertad de movimiento, se elevarán sobre el nivel general hácia el lado de la luna. Por otra parte, siendo la atraccion lunar sobre las moléculas más distantes del satélite mucho menor que su atraccion sobre las del centro de nuestro planeta, la resultante final de la gravedad de las más distantes tendrá menor intensidad, y por tanto las moléculas del hemisferio terrestre opuesto á la luna se elevarán tambien al mismo tiempo que las del hemisferio que la mira.»

solar, á causa de la distancia en que el astro central se encuentra de nosotros, ha de ser ménos eficaz que la de la luna, no obstante la insignificante masa del satélite (1).

En el caso de las sizigias se verifica con mayor empuje el fenómeno de las

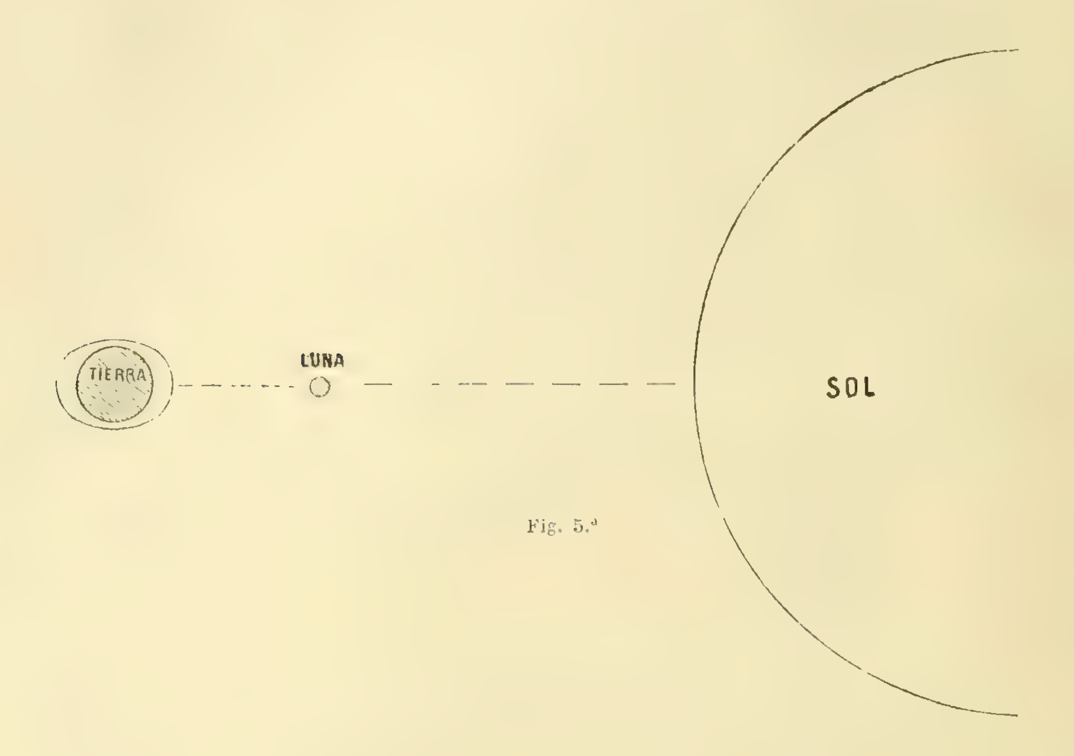


Fig. 5.ª

mareas (llamadas entonces *vivas* ó de sizigias), por sumarse las atracciones del sol y de la luna; pero en el de las cuadraturas, neutralizándose en parte esas atracciones, el aguaje será ménos intenso (estas mareas se llaman *muertas*, ó de cuadraturas). En todo caso, la marea sería una resultante de las atracciones de los dos luminares (2).

Bernouilli, pues, en su notable *Tratado del flujo y reflujo de la mar*, fundándose en el principio de la atraccion universal, y suponiendo á la tierra formada de capas concéntricas de densidad homogénea, y por todas partes cubierta con las aguas, probó que la figura de equilibrio de toda la masa ácuea bajo la influencia de la luna, debia ser la de un elipsoide, cuyo eje mayor estuviese dirigido hácia nuestro satélite.

Y lo mismo respecto del astro central.

La luna y el sol, pues, producirian cada uno de estos elipsoides, y la accion

(1) La atraccion de los planetas es tan pequeña que puede considerarse como nula.

(2) Se calcula que la marea solar es á la lunar : : 1 : 2,353.

reunida daria como resultante el elipsoide especial, causa de cada marea (1).

## V.

Si, pues, no era sumamente difícil colegir primero, que existe realmente la *virtus tractoria quæ in Luna est*, de Keplero, y, como si dijéramos, razonar despues, correlacion entre las mareas y las posiciones de los dos grandes luminares, se necesitó de todos los recursos de la ciencia moderna para atinar siquie-

(1) Véase la siguiente forma de demostracion que trae el Sr. MONTOJO en su obra *Mareas de Mindanao.*

«Sea *E N Q N'* la tierra, y *E Q* el Ecuador. Supongamos al sol y á la luna casi en línea durante la conjuncion más próxima al solsticio de invierno, en que ambos astros están cerca de sus máximas declinaciones australes.

Sea *A B C D* el elipsoide cuya figura afecta la superficie de las aguas, á consecuencia de las acciones de los dos astros; y sea *b s b' s'* el que se formaria por la sola accion del sol. Un observador situado en la latitud del punto *M*, describirá, en virtud del movimiento de rotacion de nuestro planeta, el paralelo *Y G*, y sentirá sus pleamares en *F G*, y sus bajamares en *Y* y *g*, si se supone fijos tanto al sol como á la luna.

La figura evidencia que la pleamar será en *F*, de mayor altura para él que en *G*, por estar el punto *F* más próximo al vértice *A* del elipsoide, que el punto *G'* al otro vértice *G*. Las bajamares *Y* y *g* le serán de una misma altura, por estar ambos puntos equidistantes de los vértices *A* y *G*.

Los ángulos horarios correspondientes á los arcos *g F* y *F Y*, ambos iguales entre sí, serán mayores que los correspondientes á los arcos *Y G* y *G g*, tambien iguales entre sí, lo cual quiere decir que la creciente y la vaciante de la mayor pleamar en *A* durarán más tiempo que la creciente y la vaciante de la menor pleamar en *G*.

Ahora bien: 6 ó 7 dias despues de esta conjuncion estará la luna en su primer cuarto, próximamente en el Ecuador; y, como el movimiento del sol es muy lento, se puede admitir que el elipsoide especialmente pro-ducido por el astro central, permanece siendo el mismo *b s b' s'* de la figura, mientras que el de la luna tendrá, en tal caso, su eje mayor próximamente en el Ecuador y perpendicular al plano de la figura.

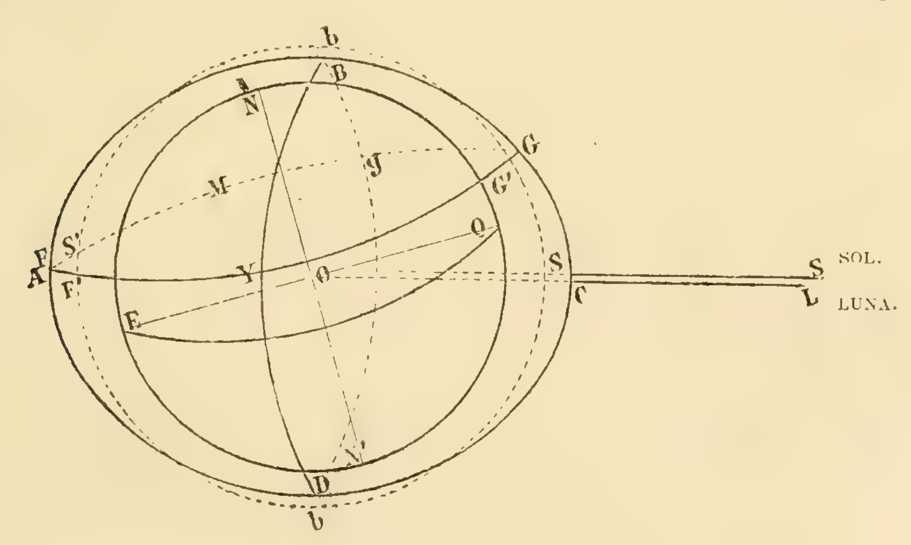


Fig. 6.ª

Y entonces el observador situado en el

ra con la razon de las complicadísimas anormalidades y excepciones que perturban la generalidad de los fenómenos.

Parece que, si no hubiera continentes, el momento de la marea, así la solar como la lunar, sería el instante de la culminacion del astro respectivo, como en Ipswich, Ostende, etc., etc.

Pero ¿por qué en unos casos precede, segun pasa en Glasgow? ¿Por qué en casi todos se retarda? ¿Por qué en unos se anticipa y se retarda cada mes lunar, como en Manila? ¿Por qué en otros parajes no hay más que una marea las más de las veces, como en La Isabela? (Mindanao.) ¿Por qué no invierte en todas las costas tanto tiempo la creciente como la menguante? ¿Por qué en el Archipiélago filipino es mayor la gran pleamar mensual en el plenilunio que en el novilunio? (1) ¿Pueden ser racionalmente generales y dignas de fe, teorías elaboradas en el supuesto de no haber continentes? (2)

## VI.

Lo que por de pronto hubo de requerir poderosamente una explicacion fueron los fenómenos llamados retardacion de la marea lunar respecto de la solar.

La luna pasa por el meridiano de un lugar cada 24 horas 50 minutos y 28,32 segundos, mientras que el sol se presenta sobre el mismo meridiano cada 24 horas. Suponiendo, pues, que en la época de una conjuncion ó de una oposicion de ambos luminares, coincidan las dos mareas que cada uno de ellos hubiera podido producir separadamente, es óbvio que la marea causada por la luna se retardará al dia siguiente 25 minutos 14,26 segundos, con respecto á la marea causada por el sol. (Estos 25′ 14″,16 son el exceso de medio dia lunar sobre medio dia solar).

---

paralelo $F'$ $G'$ sentirá sus bajamares en puntos próximos á $F'$ $G'$, y la altura de la bajamar en el punto $F'$ (más próximo que otro alguno del paralelo al vértice $s'$ del elipsoide producido por la accion del sol) será mayor que la de la otra bajamar en $G'$.

Y las alturas de las pleamares serán iguales.

Cuando la luna llegue á la oposicion, estará próximamente en su máxima declinacion Norte, ó sea en posicion casi igual y opuesta á la que tuvo en la conjuncion; y, por tanto, el elipsoide resultante de las acciones de los dos astros será casi el mismo que el de la figura: el observador tendrá su mayor pleamar en $F$ y la menor en $G$ (lo mismo que en la conjuncion), solo que entonces, cuando estaba en $F$, resultaba la luna en su meridiano inferior, y ahora la observa en su meridiano superior.

A la cuadratura siguiente habrá una menor bajamar en el mismo punto $G'$; pero en el primer cuarto aquella bajamar era oriental, y en el último tiene que ser occidental.»

(1) Carrasco, Montero, *Anuario de la Direccion de Hidrografía*, año V.

(2) *Anuario V.* Contra lo que en muchas ocasiones dice la experiencia, en el hemisferio del Norte, y en la estacion de verano, las mareas de la tarde deberian ser siempre mayores que las de la mañana, y al contrario en el invierno, pues el vértice del elipsoide ácueo pasa por la tarde al Norte del Ecuador, y por la mañana al Sur.

Continuando estas retardaciones de 25′ 14″,16, sucederá que, en las cuadraturas, la altamar producida por la luna coincidirá con la bajamar correspondiente á la accion del sol. Y, habiendo en las aguas dos tendencias, una á subir, y otra á bajar; no siendo iguales estas tendencias; y resultando preponderante la de la luna, la elevacion de las aguas obedecerá á la diferencia de las acciones lunar y solar; y de aquí que las aguas se elevarán en las cuadraturas mucho ménos que en las épocas de conjuncion ú oposicion, en que vuelven á coincidir las mareas del sol y de la luna. De aquí tambien la ya citada evidente distincion (hecha desde muy antiguo) entre mareas vivas y mareas muertas. Y de aquí, finalmente, que si tal dia como hoy sube la pleamar hasta una altura de $4^m$, á la semana siguiente solo podemos contar con una altura bastante menor (de $3^m$, por ejemplo).

Pero las retardaciones patentizadas por la experiencia no se verifican de conformidad con estos datos astronómicos (1). La ciencia de los astros se encuentra en desacuerdo con el establecimiento de cada puerto.

Para cada localidad son generalmente distintos los intervalos entre la pleamar y la correspondiente culminacion de la luna (ó del sol); y siempre es mayor el intervalo entre la culminacion del sol y la marea solar, que entre la culminacion de la luna y la marea lunar.

Además, la marea de la luna se avanza sobre la del sol, dependiente el fenómeno de la mayor velocidad comunicada á las moléculas por la preponderante atraccion que la luna ejerce sobre ellas. En Filipinas los fenómenos presentan acaso la discrepancia mayor, puesto que las mareas se anticipan y se atrasan con respecto al tránsito lunar.

## VII.

Ya en nuevos caminos, pronto se echaron de ver otras causas más que llevar en cuenta, astronómicas puramente.

La retardacion varía con la posicion de la luna relativamente al sol, la declinacion de la luna y las distancias de este luminar respecto de la tierra.

Por la elipticidad de las órbitas terrestre y lunar no son uniformes las distancias que nos separan del sol y de nuestro satélite.

De consiguiente, cuando cualquiera de los luminares está más próximo á la tierra (perigeo), siendo mayor su fuerza de atraccion, la onda fluxial levantada por el astro debe resultar de mayor elevacion que la ordinaria; y, naturalmente, cuando el astro esté más distante (apogeo), la elevacion de la pleamar será menor.

Así, pues, para que ocurran las pleamares máximas del año se requiere la reunion de todas estas condiciones:

---

(1) Compulsados de varios autores, y tomados de *The English Cyclopædia*.

Que el sol esté en el Ecuador;

Que la luna esté en su perigeo;

Que en el plano de la eclíptica esté la luna próxima al sol.

Por esto las máximas mareas se verifican en los equinoccios, y en los solsticios las mínimas.

Pero, tratándose de la marea, debemos siempre estar dispuestos á admirar alguna anormalidad extraordinaria. Y en efecto, como ya hemos observado, las mareas más altas en Manila son las solsticiales.

**1863.**

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Equinoccio de primavera........... | 6 piés | 1 pulgada. | | |
| Solsticio de verano................ | 7 » | 8 | » | |
| Equinoccio de otoño............ ... | 6 » | 3 | » | |
| Solsticio de invierno....... ...... | 7 » | 3 | » | (1). |

Por otra parte, las elevaciones del agua marina, con respecto á una línea 0, es en algunos lugares mayor durante medio año, cuando la luna está sobre el horizonte, que cuando está debajo; y durante el otro medio año ocurre el fenómeno en un órden inverso (2).

## VIII.

Si la doctrina de las mareas se iba en general engrosando y enriqueciendo, mientras más y más ponia á contribucion preciosos datos de la astronomía, era

(1) Francisco Carrasco, Claudio Montero, *Anuario de la Direccion de Hidrografía*, año V.

(2) Hé aquí algunos datos suministrados por observaciones fidedignas (*Engl. Cycl.*).

En Brest, cuando los astros están en conjuncion ú oposicion durante los solsticios, la retardacion llega á $41^m\ 51^s,69$; pero durante los equinoccios es solo de $37^m\ 38^s,15$.

Y, por otro lado, cuando los astros se hallan en cuadratura durante los mismos solsticios, la retardacion asciende á $67^m\ 27^s,49$, y en los equinoccios llega hasta $83^m\ 16^s,31$.

En el mismo Brest la pleamar ocurre 1 dia 0,48 despues de la conjuncion ó la oposicion durante las sizigias equinocciales; al paso que en las cuadraturas de equinoccio las pleas se verifican 1 dia 0,51 despues del momento de la cuadratura, y 1 dia 0,51 en los solsticios.

Pero en Lóndres las más altas mareas ocurren 2 dias despues de la conjuncion ó de la oposicion del sol ó de la luna, mientras que

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| En Liverpool | es solo de | 1 | dia | 0,68 |
| — Bristol | » | 1 | » | 6,67 |
| — Dundee | » | 1 | » | 6,39 |

Y hay más: en las sizigias, lo mismo que en las cuadraturas, las retardaciones respecto al tránsito de la luna vienen á ser casi iguales, mientras que de la conjuncion al primer cuarto, y de la oposicion al tercero, el intervalo se aminora (ó, lo que es lo mismo, la pleamar se adelanta); al paso que del primer cuarto á la luna llena, y del tercero á la luna nueva, el intervalo se agranda (ó, lo que es lo mismo, la pleamar se retrasa).

lo cierto que solamente algunos hechos recibian una como imperfecta *explicacion-del-sobre-poco-más-ó-ménos* de sus circunstancias, mientras que importantísimas cuestiones continuaban permaneciendo en la más completa oscuridad.

¿Por qué no hay dos mareas en todas partes? ¿Por qué en algunas hay cuatro, como en Poole? ¿Por qué el flujo no dura tanto siempre como el reflujo? ¿Por qué durante el flujo se quedan paradas algunas veces las aguas en Filipinas? ¿Por qué las mareas sirven de reloj á los habitantes de las islas de la Sociedad? ¿Por qué los aguajes son enormes en algunas playas é insignificantes en otras? ¿Por qué la marea se adelanta en ciertos parajes á las culminaciones de la luna? ¿Por qué hay retrasos, si bien evidentemente modificados por las posiciones equinocciales y solsticiales, apogeas y perigeas? ¿Por qué en ciertas localidades hay anticipacion, coincidencia y retraso? ¿Por qué las mareas equinocciales no son en todas partes las más altas? ¿Por qué hasta 30, 40, 50, y muchas veces hasta 60 horas despues de producidas, no llegan á nuestras costas europeas las ondas de la marea producidas al Sur de la Australia, habiéndose movido en el intervalo en toda posible direccion, y con toda clase de velocidad, desde 10 á 100 millas, y mucho más por hora? (1)

Y — mientras todo esto quedaba sin explanacion plausible, — á medida que adelantaba el conocimiento de los fenómenos marinos se presentaban antiguos y tremendos problemas nuevamente ante la ciencia, exigiendo teoría que diese cuenta de su periodicidad.

## IX.

POROROCA.

El pororoca (voz brasileña; en francés *barre de flot*, ó *barre*, ó *mascaret;* en portugués *pororoca* y *macareo* (2); en inglés *bore* y *boar; Springwelle* y

(1) Las objeciones anteriores no son de aquellas irregularidades que se dejan normalizar aplicando coeficientes oportunos de correccion. Verdad es que la marcha de la luna no es regular, que no se conserva constantemente á la misma distancia de nuestro globo, que pasa de un lado á otro del Ecuador, que, á pesar de estarse estudiando hace 2.000 años su movimiento, la teoría lunar está todavía incompleta; pero, con todo, las anormalidades observadas son de esencia diferente, y no caben dentro de los límites de error propios de una teoría no acabada.

(2) La etimología de la palabra portuguesa MACAREO ha sido objeto de exquisita investigacion por parte de mis amigos los Sres. Joaquim Filippe Nery Delgado, de la Seccion de Trabajos geológicos de Portugal, y Aniceto dos Reis Gonçalves Vianna, eminente filólogo lisbonense.

Hé aquí lo que en carta de 1.º julio 1879 me comunica Vianna:

«Nas costas de Portugal não se conhece o phenomeno a que os indios bravos do Pará ou Maranhão chamaram *pororóca*, e os francezes *mascaret*. Parece por tanto, que não haverá termo portuguez pelo qual seja reconhecidamente designado.

Acha-se todavia nos nossos chronistas da Asia, e em outros escriptores portuguezes, uma palavra que, pela sua apparente relação morphologica e ideologica com o vocabulo francez *mascaret*, é digna de attento reparo, se, como parece, foi por esses escriptores empregada como denominação d'aquelle phenomeno. observado na India: e é *macaréo*.

*Vorfluth* en aleman), es un súbito y especial levantamiento de las aguas marinas en la entrada de algunos rios á las mareas vivas de equinoccio.

Las aguas marinas en la pleamar se alzan de repente algunos metros sobre el nivel de las aguas fluviales, y rompen con asordante estrépito y fiera velocidad rio arriba hasta excepcional distancia de la desembocadura.

El fenómeno requiere:

---

Até hoje os lexicographos portuguezes, na sua maioria, tem dado *mascaret*, *macrée*, *macquerée*, como a origem do vocabulo *macaréo*; é em Constancio, a par de umas etymologias inadmissiveis por absurdas, vê-se tambem *cascaret*, o que é evidente erro typographico por *mascaret*.

Os inglezes denominam o phenomeno, observado por exemplo no Severn, pela designação local de *eagre* ou *hygre*, vocabulo certissimamente germanico (inglez antigo *eágor*, *égor*). O mesmo phenomeno presenciado na foz do Indo é pelos inglezes chamado *bore*, voz a que geralmente se dá origem indiana, sem comtudo se citar a lingua vernacula de que foi tomada. A edição americana do grande diccionario de Webster (1876), dá-lhe etymologia germanica (alto allemão antigo *burjan*, *purjan*). Achamos uma e outra contestaveis. A coincidencia de fórma e significação entre o vocabulo citado e o francez *barre*, castelhano e portuguez *barra*, tornam talvez mais provavel a sua identificação. (Vejam-se: *Penny Cyclopædia*, s. v. *bore*, e o *Etymologisches Wörterbuch der Romanischen Sprachen* de F. Diez, s. v. *barra*, á qual é dada origem celtica, cymbrico *bar*, etymologia repetida pelo sr. Brachet no *Dictionnaire Etymologique de la langue française*.

Os lexicographos portuguezes dão, como dissemos, o vocabulo *macaréo* como originado do francez *mascaret*, *macrée*. Bluteau, porém, e não sei se mais algum, dicem ser voz asiatica, inculcando provavelmente que é termo da India. Em nenhuma das linguas arianas vernaculas, porém, parece existir, que eu saiba; sendo por outro lado inteiramente incompativel com ellas, e assim tambem com as Dravidicas, um suffixo *eo*, *reo* ou *areo*. Arabico ou iraniano, pelas mesmas razões, nos parece tambem evidente que não é.

Temos por tanto a mesma singularidade que com o vocabulo inglez *bore*. São dados *bore* e *macaréo* como termos da India, mas não se diz a que idioma pertencem. Julgamos por tanto que um e outro são designações europêas, applicadas por escriptores europeus ao phenomeno observado na India; provavelmente, porque nas suas linguas respectivas designavam já esse phenomeno, ou outro similhante, com estes vocabulos.

Resta-nos examinar a derivação franceza de *mascaret* ou *macrée*, a qual apparentemente resolveria a questão.

A primeira dúvida que se nos apresenta é a identidade de origem dos dois vocabulos *mascaret* e *macrée*.

*Macrée* parece ser uma palavra d'essa formação frequentissima em quasi todas as linguas romanicas: tem a fórma de um participio passivo feminino como *armée*, *issue*, etc.; em castelhano *armada*, *salida*, *partida*; en portuguez *armada*, *saída*, *chegada*; em italiano *reduta*, *caduta*, etc. Não encontramos, porém, processo racional, mediante o qual um substantivo d'essa formação podesse provir ou dar origem a est'outro vocabulo *mascaret*, o qual além d'isso tem um *s*, que d'esse modo seria injustificavel. Os dois vocabulos são por tanto de origem diversa, e não sabemos qual. (Vid. Littré; e Jal, *Gloss. Nautique*.)

Seria, porém, algum d'elles o etymon do portuguez *macaréo*? Creemos que não.

Examinemos primeiro *macrée*. Abstrahindo mesmo do *a* da syllaba *ca* de *macaréo*, que, com quanto admissivel como separando os dois elementos do diphtongo consonantal *cr*, é phenomeno raro na lingua portugueza, a qual favorece os diphtongos de subjunctiva *r*, sendo esta uma das suas particularidades phoneticas: mesmo abstrahindo do *a* intercalar, dizemos, como é que o vocabulo feminino de formação participial *macrée* daria para o portuguez o vocabulo masculino *macaréo*? *Macrée* só poderia dar, mesmo por imitação consciente, *macrée*, ou se quizerem ainda *macaré*, como *marée* comparado a *maré*, permanecendo por tanto feminino. (Vid. Brachet, s. v. *marée*.)

Examinemos agora *mascaret*. Aqui a derivação é ainda mais improvavel. Temos pri-

1.° Que el rio desagüe en un extendido estuario, inundable en las mareas vivas;

2.° Que el estuario se angoste gradualmente;

Y 3.° Que tambien se estreche el rio.

La invasion de las aguas del mar en las mareas vivas equinocciales empuja hácia tierra considerable volúmen de la masa líquida por la ancha entrada del

---

meiro a queda do *s*, que nada justifica, depois a terminação *eo*, substituindo *et*. *Mascaret* tem o typo de um diminutivo como *archet*, *guichet*, *follet*, etc. A origem do radical *masc*.... *ar*..... essa é que cumpriria averiguar.

A terminação diminutiva de *mascaret*, porém, suggere-nos uma conjectura.

Assim como no vocabulo francez, a terminação portugueza é tambem un suffixo, *aréo*, formando substantivos, e que, com quanto raro, encontramos em *fogaréo* de *fogo*, *mastarco* de *masto* ou *mastro*, e nos vulgares, *povaréo* de *povo*, *cacaréo* de *caco*. Esta comparação conduz-nos a um vocabulo *maco*, que parece não existir na lingua, ou pelo menos não haver sido recolhido, se alguma vez existiu, mas que pode ser o italiano, *macco*, de origem incerta, dando os derivados *maccare*, *smaccare*, portuguez *esmagar*, e cuja significação parece ser originariamente a de *choque* ou pressão violenta, determinando divisão minima, destruição. (Vid. Diez, *Et Wtb.*, 1.ª parte s. v. *macco*.)

Seja ou não bem cabida a derivação, o que em todo o caso nos parece assente é que os tres vocabulos *mascaret*, *macrée* e *macaréo* são independentes entre si, e que as suas coincidencias de fórma e funcção são apenas fortuitas.

O vocabulo *macaréo*, que, actualmente pelo menos, parece designar *vaga enorme*, no dialecto dos homens do mar portuguezes, está auctorisado pelas passagens classicas, que vamos transcrever das citações feitas nos diccionarios de Moraes e Fr. Domingos Vieira, e por outras, que accrescentamos.

«..... da enchēte da marè, que era com tamanha corrente & *macareo*.» (Francisco de Andrada, *Chronica de el-rei D.* João III, parte 3.ª, cap. 16, p. 23 v.)—«este *macareo*, ou fluxo da maré he tão veloz, que não ha cavallo, por ligeiro que seja, a que a maré não alcance, quando entra pela planicie da praia (João de Barros, *Decadas da Asia*, 3.ª, liv. 5.°, cap. 1)—«& depois quando a maré torna a encher vem com tãta soberba, fazendo vm *macareo* tão medonho, que parece que quer encapellar toda a cidade.» (Diogo do Couto, *Decadas*, 6.ª, liv. 4.°, cap. 3.°, p. 72.)

«E querendo eu por coriosidade experimentar a ligereiza d'este *macaréo* me pus na praya, em vm bom ligeiro caualo Arabio (em parte que só aquella pequena onda da resaca podia chegar). E em vendo vir o *macareo* com grande terremoto hũa grande distancia, lhe pus as pernas, mas antes de vm tiro de pedra passou por my como vm rayo, deixandome bem molhado.» (Diogo do Couto, *Decadas*, 6.ª, liv. 4.°, cap. 3.°, p. 72.)

«Entretanto Vasco Pirez de Sampaio proseguindo sua viagem, tambem em serviço de Soltam Badur, chegou a foz do rio Indo, hum dos mais famosos da Asia. Surto aqui Vasco Pirez, vazou á maré mais de meia legoa, & ficarão os navios em seco, pelo que foi avisado que os despejasse, para que ficassem livres quando tornasse a montãte d'agoa; porque se estivessem carregados, se perderião, por trazer grande força enchendo com *macaréo*: & por tanto elle mandou aboiar a artelharia, para o que forão postos sobre ella os mastos, & vergas dos navios.» (João de Barros, *Decada* 4.ª, liv. 6.°, cap. 15, p. 368.)

«Chama-se *macareo* aquelle impeto, com que para esta costa (da India transgangetica) enchem, e vazão as agoas do mar. Tal he a força, tamanho o arrebatamento, e violencia, com que descem, e sobem, que de qualquer postura, que colhem os navios, se não he com a proa direita, e muito cuidado contra a corrente, de nenhum modo escapão de Trabucados.» (Fr. Luiz de Souza, *Historia de S. Domingos*, parte 3.ª, liv. 5.°, cap. 9.° p. 353.)

Deduz-se por tanto das passagens citadas, especialmente da ultima, a significação clara do vocabulo *macaréo* em portuguez, devendo restringir-se o seu emprego, qualquer que seja a origem d'elle, a designar o phenomeno a que no Brasil se chama *pororóca*, e no Sena *mascaret*.»

estuario: allí se agolpa el mar, y forzosamente se levanta y acumula, por no poder caminar desembarazadamente hácia la angostura del estuario, ni mucho ménos hácia la boca del rio, bastante más estrecha aún. La marea, creciendo siempre, sigue desde mar á dentro empujando hácia la playa el agua marina que ya ha penetrado en el interior de la tierra; y, cuando el flujo llega á la embocadura del rio, el acúmulo y exceso de las aguas marinas ha adquirido ya una elevacion irresistible sobre el nivel de las aguas fluviales descendentes hácia el mar; y, por tanto, el flujo, como una catarata, las atropella y les pasa por encima con la furia de un torrente desatado. En el Severn (canal de Bristol) el pororoca adquiere una elevacion de 9 piés (en este rio el agua de la marea creciente puede subir 18 piés en hora y media); en el Bramaputra, de 12; en el Indo, de 9 (y bien experimentaron los barcos de Alejandro Magno (1) lo terrible de las mareas de este rio): en la bahía de Fundy la elevacion del pororoca excede á la del Severn. La terrible catarata es particularmente colosal en el Amazonas, á la confluencia del Ariguari (2). Durante los tres dias contíguos á los novilunios y plenilunios equinocciales, la marea, en lugar de invertir $6^h$ para llegar á su máxima altura, llega á ella en el espacio de muy pocos momentos. Entonces se ve una ola de 4 á $5^m$, luego una segunda, despues una tercera, á veces una cuarta, que se siguen sin interrupcion, abarcando de orilla á orilla. Y en el Guana y el Capin (cerca de Pará), y tambien en el Meary (Maranhão) llegan repentinamente las tres ó cuatro intumescencias gigantescas, corriendo una tras otra con inconcebible y vertiginosa celeridad, trastornando terrenos considerables, arrancando de cuajo árboles corpulentos, y destruyendo cuanto se halla en aguas de poca profundidad. Este pororoca desaparece en cuanto pasa de los parajes estrechos y encuentra mucho fondo (3). Los indios de aquellos parajes son los que han dado al espantoso fenómeno el nombre ono-

---

Deseoso de mayor noticia, pregunté al señor D. Eduardo Saavedra, y éste me manifiesta lo siguiente con fecha 31 de julio 1879:

«He visto en el Diccionario árabe la palabra

مسجور

*maschor* (transcrita con la ortografía castellana), que significa *turgidum mare*. Me parece que debe ser ese el orígen de *macareo* ó *mascareo*.»

Los filólogos ingleses no conocen tampoco el orígen de *bore;* hay quienes lo hacen derivar de *to bore*, taladrar; otros de *boar*, oso, lo que no pareceria improbable, pues tambien el fenómeno se denomina *boar's head*, cabeza de oso; otros, en fin, juzgan que *bore* y *boar* son imitaciones onamatopéyicas que por azar coinciden con *to bore* y *boar*.

En cuanto á *hygre*, la etimología con el holandés *agger*, gran aguaje, parece evidente, por más que los Diccionarios ingleses omitan esta etimología.

El pororoca tambien se produce donde no hay rio, si la situacion de las ensenadas ó recodos de las costas presenta situacion análoga á la de las desembocaduras fluviales: así sucede en L'anse du Mont-Saint-Michel, Francia.

(1) «Los soldados-dice Quinto Curcio-se quedan aterrados viendo naufragios en medio de la tierra, y todo un mar en el seno de un rio.» Es raro que solo exista de este pororoca la descripcion de Quinto Curcio.

(2) Véase la descripcion de La Condamine.

(3) Datos entresacados de *The English Cyclopædia*.

matopéyico de pororoca. El *macareo* del Sena, que ocurre con la mayor puntualidad en los novilunios y plenilunios equinocciales, es de una imponente y majestuosa rapidez en Quillebœuf, donde la catarata marina, con una anchura de 10 kilómetros y una altura de 2 á $3^{m}$, avanza con la velocidad de un caballo á escape (1), haciendo retroceder las aguas fluviales hácia sus fuentes, atacando el suelo, moviendo la barra, y tragándose á veces grandes extensiones de fértiles terrenos, mientras, en general, y hasta en la extrema desembocadura del Sena mismo, en el Havre, en Honfleur, en Berville, el flujo, como de costumbre, va ascendiendo por grados insensibles. Un dia ó dos antes del efecto máximo, el macareo es todavía muy de temer.

¿Qué origina, pues, la periodicidad del pororoca? ¿Cómo no se habia advertido antes esa periodicidad? ¿Cómo las Sociedades científicas de Lóndres y de París, que desde el siglo pasado tenian ya noticia por La Condamine del espantoso fenómeno en el Amazonas, no habian logrado dar con la clave de los desastres que se repetian á sus puertas, ya en el *bore* del Severn y del Humber, ya en el *mascaret* del Sena y el Dordoña, ocurridos muchas veces á la luz del sol más puro, en medio de la calma más completa, en la ausencia de todo viento y de toda tempestad ni aun en los límites del horizonte, y sin que, al ruido tremebundo ocasionado por la irrupcion de las líquidas montañas, se mezclasen las fulminaciones del rayo ni los estampidos del trueno?

## X.

Hasta bien entrado el segundo cuarto de este siglo XIX todo el arsenal científico concerniente á las mareas, consistia en estas hipótesis, alguna indecisamente formulada:

1.° Formacion de un inmenso elipsoide constituido por las masas líquidas de los Océanos, en virtud de las atracciones de la luna y del sol: sumadas en las conjunciones y oposiciones: restadas en las cuadraturas: mayores en los equinoccios: menores en los solsticios: susceptibles en todo caso de modificarse por las varias combinaciones de situacion de los dos luminares en el Ecuador y fuera de él; en el apogeo y en el perigeo:

2.° Inmovilidad relativa de las protuberancias del elipsoide líquido, á causa de la lenta traslacion de la luna en su órbita, y más aún del aparente movimiento solar:

3.° Necesidad, sin embargo, de asignar, de marea á marea, un período

(1) El *mascaret* del Sena ha sido preciosa y repetidamente descrito por Babinet. La velocidad es de 8 á $9^{m}$ por segundo entre Yanville y Rouen: la hora del macareo es la del principio de la marea, que anuncia la llegada de la inundacion, y no la precede sino algunos instantes. Los grandes trabajos hechos desde 1850 en la parte inferior del rio para encauzarlo han cambiado en muchos parajes las circunstancias de este macareo.

mayor de 24 horas, por virtud de la translacion orbital de nuestro satélite, solo en cierto modo supuesto estacionario, para computar perentoriamente los efectos de su atraccion:

4.° Induccion teórica de que los efectos atractivos de la luna y del sol fuesen instantáneos, por lo cual las horas de las mareas debian ser las de los pasos de la luna por el meridiano superior é inferior en las sizigias:

5.° Necesidad imprescindible, sin embargo, de admitir perturbaciones en las inducciones teóricas:

6.° Presuncion de que las anormalidades pudieran atribuirse á la forma irregular de los mares y de los continentes:

Y 7.° seguridad de que el viento y la presion barométrica podian introducir en los fenómenos modificaciones de importancia.

Nada habia que oponer á estas hipótesis: ellas daban cuenta de la generalidad de los hechos; pero las circunstancias especiales no se dejaban explicar por las atracciones combinadas del sol y de la luna, ni por el viaje de las playas hácia la línea de atraccion que causa el elipsoide ácueo resultante de aquellas atracciones.

Así, pues, ni los primitivos trabajos de Newton, ni los más modernos y más notables de Bernouilli, Euler, Lagrange, Laplace, Lubbock, Whewell y Airy (grandes obras del genio, sin embargo) lograron hacer coincidir la rebeldía de ciertas particularidades con los resultados de las fórmulas: de modo que la teoría solia permanecer en desacuerdo con hechos bien comprobados de la experiencia, si es que esos hechos no se quedaban totalmente sin explicacion ninguna en buen número de casos. No parece sino que los cálculos estaban hechos para mares encantados, como decia el famoso D. Jorge Juan, y no para los que surcan los marinos y conocen los habitantes de las costas.

La mecánica celeste de las mareas habia sido analizada y explanada de una manera satisfactoria, tanto para los astrónomos como para los físicos matemáticos; pero su mecanismo telúrico (la propagacion de las mareas por las costas de nuestro globo) permanecia sin explicacion (1). Y es que solo en la GENERACION de la marea producen efecto las atracciones del sol y de la luna, que apenas influyen en la subsiguiente PROPAGACION.

---

(1) Report of the 6.th meeting of the British Association.

The celestial mechanics of the tides had been analysed and explained in a manner satisfactory both to astronomers and mathematical physicists, but their terrestrial mechanism—the propagation of tides along the surface of the globe—remained without explanation.

# CAPÍTULO II.

## CUESTION TELÚRICA.

I.

Mucho tiempo se pasó antes de ser distinguidos y clasificados los varios movimientos principales de la mar, con especialidad el permanente movimiento fluxial de las aguas, efecto de la atraccion luni-solar y de la rotacion terrestre, contrapuesto al movimiento de las olas, producto accidental de los vientos, las depresiones barométricas, la evaporacion en los golfos ecuatoriales, etc.

En 1834 empezó Scott Russell sus investigaciones sobre estos dos movimientos de las ondas, y en 1836 fueron confirmados sus descubrimientos por una comision de la Asociaciacion Británica.

En 1843 expuso Russell sus teorías y experimentos sobre aguas remansadas, y en 1863 Bazin sus observaciones sobre aguas tranquilas y corrientes (1).

II.

Todo el mundo se ha entretenido alguna vez observando con gran deleite las ondas que se forman en un estanque, cuando un cuerpecillo cae sobre su tranquila superficie. Todos igualmente han visto que esas ondas se extienden en círculos concéntricos, y que avanzan hasta muy lejos en el agua serena de un canal; y todos, en fin, cuando prévios conocimientos han preparado ó ilustrado su observacion, han echado de ver, con cierta sorpresa, que una hoja, una ramilla, un corpúsculo flotante en aquel agua remansada, sube y baja con las ondas, pero no camina con ellas, sino que permanece fluctuando en su sitio, indiferente al viaje de la undulacion.

Esas undulaciones son, pues, más bien tremor que movimiento (2).

(1) Véanse estas obras magistrales, que seguiré fielmente en cuanto diga sobre las ondas solitarias. Report on waves, made to the meetings of the British Association, 1842—1843, John Scott Russell.

Recherches hydrauliques, deuxième partie, H. Bazin.

(2) Ya el mayor ingeniero de su siglo, el famoso pintor, músico y poeta Leonardo da Vinci, hace 400 años, es decir, 2 siglos antes

Este temblor del agua, producido por el viento, ó por un sólido al caer sobre un estanque, consiste principalmente en ascensos y descensos de las moléculas líquidas, pero de ninguna manera en transporte, translacion ó viaje de las moléculas mismas. Así, un péndulo se mueve suspendido de un punto enteramente fijo.

Y así como, separado el hilo á plomo por mi mano de su posicion de reposo y equilibrio, continúa, despues que yo lo suelto, moviéndose largo tiempo independientemente de mi voluntad, de la misma manera continúan en el agua los círculos concéntricos despues de haber llegado al fondo la piedrecilla que les dió orígen. El péndulo y las moléculas del agua continúan oscilando, obedientes á dos fuerzas: la perturbacion que los sacó de equilibrio, y la fuerza de la gravedad.

El que, habiéndose embarcado por primera vez, ve venir contra el buque olas animadas de la enorme velocidad de muchas millas por hora, siente con sorpresa (no bastante á calmar su espantada tribulacion) que el buque cabalga gallardamente sobre las gigantescas oleadas; y ve, con cierta tranquilidad, que pasan en seguida por debajo y se alejan rápidamente, sin desviar de su curso á la embarcacion, ni ofenderla en lo más mínimo. «¿Cómo es que, si está bajando la marea, las olas, sin embargo, suben por la playa?» suelen preguntar los campesinos. ¿Cómo es que el movimiento de la onda líquida es diferente y contrario al movimiento de los cuerpos? ¿Cómo la masa puede no separarse de un lugar, y moverse, sin embargo, en ella una undulacion? ¿Será que la ola no es lo que parece? ¿Es, en efecto, una ilusion, una apariencia, y no una realidad de translacion?

En esta clase de undulaciones, pues, nunca hay ascenso de una molécula líquida, sin subsiguiente descenso de la misma; nunca descenso sin ascenso in-



Fig. 7.ª

mediato, nunca convexidad sin concavidad gemela: jamás es único, antes bien siempre es múltiple, este agitarse de las aguas en subir y bajar contínuamente: jamás se ve una intumescencia sola, ni tampoco una cavidad única; sino una

---

de Newton, á quien se supone el primero que haya tratado del movimiento de las ondas, decia lo siguiente:

«E che quello io dico ti si faccia più manifesto, poni mente á quelle festuche che per loro leggerezza stanno sopra l'acqua, e vedrai che per l'onda fatta sotto loro per l'accrescimento di circoli, non si partono però dal loro sito; essendo adunque questo tale risentimento di acqua piutosto tremore che movimento..... Véase Cialdi, sul moto ondoso del mare, pág. 61.

GREY numerosa de elevaciones y depresiones de la superficie; por lo cual esta clase de agitaciones líquidas ha recibido de SCOTT RUSSELL el expresivo nombre de GREGARIAS. Las ondas se siguen siempre unas á otras con maravillosa regularidad: toda molécula situada en la cresta de una onda desciende de su elevada posicion para volver otra vez á ella, y el tiempo que invierte en una primera undulacion, es igual al que emplea en otra segunda, en otra tercera y en cada una de las siguientes; y además, ese tiempo que una molécula emplea en la oscilacion es igual al tiempo que en el mismo estanque, y en las propias circunstancias, invierte otra molécula cualquiera en su ascenso y descenso individual; de modo que como sucede en las oscilaciones de los péndulos de una misma longitud, las ondas de una misma amplitud verifican sus ascensos y descensos en tiempos iguales é independientemente de la altura (1).

---

(1) Llámase altura por la mayor parte de los autores la distancia vertical que sube y baja cada molécula.

Pero, cuando la amplitud es la misma, como en $ab = a'b'$, entonces la ascension de cada molécula y su descenso requieren el

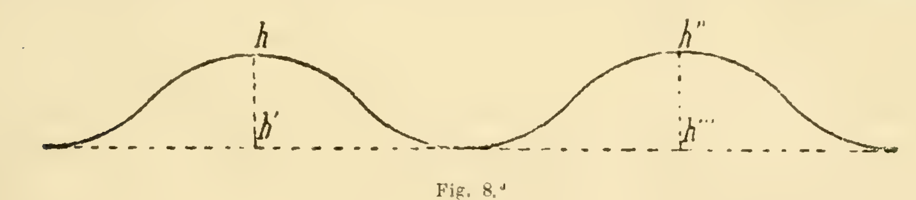



Fig. 8.ª

Por tanto, altura $= hh' = h''h'''$.

Llamase por muchos amplitud la distancia de cresta á cresta en las ondas gregarias.

mismo tiempo, independientemente de que las alturas $h^{IV}h^{V}$ y $h^{VIII}h^{IX}$ sean ó no iguales. Por tanto, la molécula $a$ sube y baja en el

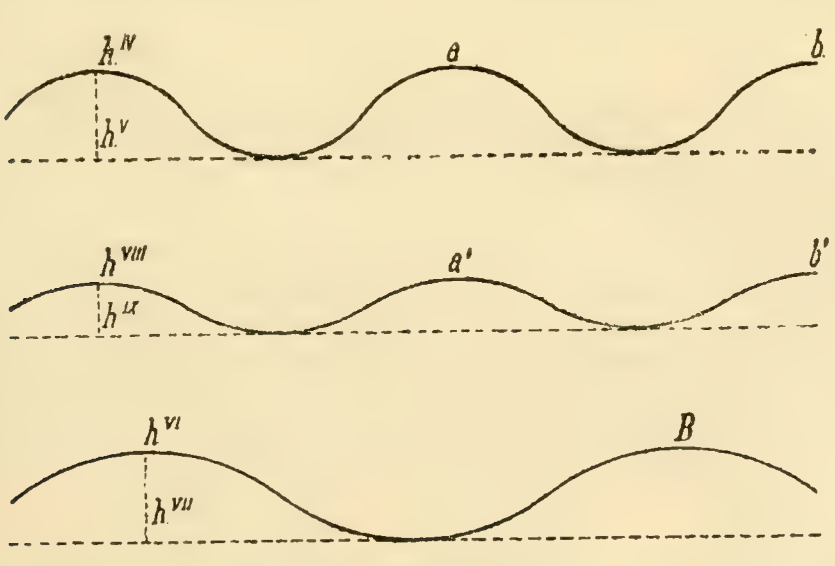



Fig. 9.ª

Por tanto, amplitud $= h^{IV}a = ab = bc = \ldots$
$= h^{VIII}a' = a'b' = b'c' = \ldots$

mismo tiempo que la $a'$, aunque las alturas $h^{IV}h^{V}$ no son iguales á $h^{VIII}$ $h^{IX}$, pero

Su velocidad de transmision (nótese esto bien) es independiente de la profundidad del fluido.

En la superficie de los líquidos la forma de estas ondas es la de cicloides elongadas—más ó ménos—pero nunca la de la cicloide misma, porque las ondas se rompen en cuanto se acercan mucho á esta forma, que parece ser su límite.

Las moléculas, pues, en estos experimentos no viajan, por más que undulen; como en un campo de trigo las doradas espigas, agitadas por el viento, remedan las undulaciones de los lagos, sin separarse del lugar donde están fijas sus raices.

Si, pues, llamamos positivo al subir, y negativo al bajar, en toda undulacion producida por el viento ó por el choque de un cuerpo sólido sobre la superficie de las aguas, tendremos siempre, durante el tremor del líquido, un período positivo y otro negativo, sucediéndose ambos repetidamente y á intérvalos regulares, pero sin movimiento real de translacion.

La undulacion de las espigas es una individualidad fantasmagórica: la forma subsiste, pero la espiga que está ahora en la cúspide no es la que estará en el inmediato instante, ni la que estará luego ni despues mientras dure la misma undulacion. El movimiento de las ondas no es el transporte de la materia, sino el movimiento de un movimiento, como Russell dice con suma profundidad; es la transferencia del tremor de una molécula á la inmediata, y de esta á la siguiente, y de la 3.ª á la 4.ª....., sin la transferencia material de ninguna; la emigracion de la forma sin la peregrinacion de la substancia; la transmision de la fuerza sin el viaje del ajente.

## III.

Ha recibido el nombre general de vibracion todo movimiento alternativo, en opuestas direcciones, de las partículas de un medio elástico, al rededor de un centro de equilibrio, cuando ese equilibrio resulta perturbado por una causa cualquiera suficiente.

Asi, los movimientos alternados de un lado para otro que se observa en las ramas de un diapason cuando emite su sonido, ó bien los de una cuerda tirante en un instrumento músico....., se llaman por todo el mundo vibraciones.

Pero el movimiento alternado, ó de columpio de un péndulo..... se denomina más especialmente oscilacion, y se refiere como voz técnica á la accion de la gravedad. La palabra oscilacion supone, por tanto, cierta relativa lentitud,

---

no en el mismo tiempo que la $h^{v'}$; porque, si bien ahora son iguales las alturas $h'^{v}$ $h^{v}$ y $h^{v'}h^{v''}$, no lo son las amplitudes $ab$ y $h^{v'}B$.

El número de partículas líquidas colocadas accidentalmente en cada onda fuera de su posicion de equilibrio hidrostático, es lo que se llama por los autores Volúmen de la onda.

comparada con los rapidísimos y diminutos movimientos de vaiven (imposibles casi siempre de ser apreciados con los ojos) resultantes de la elasticidad de las partículas de un cuerpo, ó de los íntimos y escondidos elementos de un medio cualquiera: para esos, pues, se ha reservado el nombre genérico de vibraciones.

Así, por tanto, los círculos concéntricos producidos en el agua por la caida de un sólido, se llaman más propiamente ondas de oscilacion (1).

La vibracion, pues,—y en su caso especial la oscilacion—supone que un sistema cualquiera de moléculas sale de su posicion de equilibrio en virtud de una fuerza suficiente, afectada de cierta direccion, y que, luego, las moléculas del sistema, por virtud de fuerzas existentes en el mismo, recorren en direccion opuesta un cierto espacio para volver á su posicion de equilibrio, pasan de esa posicion en virtud de la velocidad adquirida, caminan nuevamente en sentido contrario otro espacio igual al anterior hasta consumir toda la velocidad que llevaban....., repitiendo alternativa é indefinidamente los mismos movimientos de ida y vuelta, mientras no sean detenidas sus idas y venidas por fuerzas exteriores al sistema.

## IV.

Esta clase de ondas era la única estudiada hasta que Scott Russell empezó sus trabajos (2); de los cuales resultó que, además de las ondas oscilatorias (ó vibratorias) en que las partículas oscilan pero no viajan, existe en los líquidos otra clase importantísima: onda *sui generis* diferente en su orígen, sus fenómenos y sus leyes, de las ondas vibratorias y oscilantes, únicamente estudiadas hasta 1834.

---

(1) Pero no es simplemente el movimiento de ida y vuelta de las partículas ó de las partes de un cuerpo lo que constituye en general una vibracion. El émbolo de una máquina vertical de vapor cuando va hácia arriba á presion plena con creciente velocidad hasta tocar en la tapa del cilindro, ó cuando luego baja en las mismas condiciones, está animado ciertamente de un movimiento de vaiven, pero nadie lo confundirá con lo que en matemáticas se entiende por vibracion. Sin embargo, supongamos ahora que el vapor deja de entrar en el cilindro desde el momento en que el piston ha adquirido fuerza bastante para llegar á la tapa, de modo que toda la fuerza ascensional se haya gastado antes de que el piston comience á descender, y en tal caso, ya tendremos algo á lo cual podrá aplicarse con cierta propiedad el nombre de vibracion. Véase *English Cyclopædia*.

(2) Bidone en 1823 habia ya hecho estudios sobre las lomas líquidas de que se hablará despues, pero sin comprender que eran un conjunto de ondas solitarias.

## V.

Supongamos un canal horizontal, de seccion rectangular, $A\ B$, y lleno de agua en reposo.

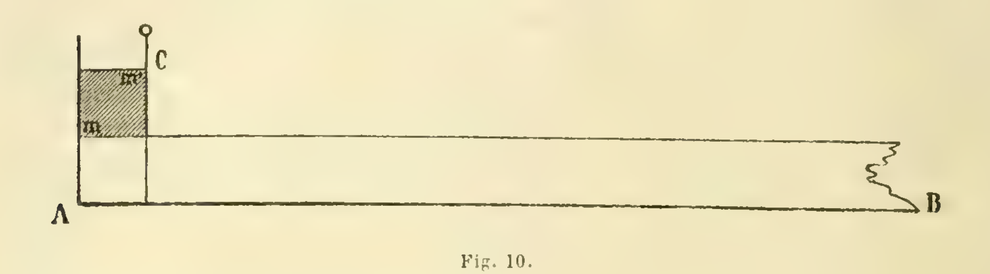



Fig. 10.

Si inyectamos repentinamente en él una pequeña masa de agua $m\ m'$, levantando la compuerta $C$, veremos inmediatamente producirse un fenómeno singular.

Una onda, en alto relieve, sobresaliente, una verdadera protuberancia, una gibosidad simétrica, de una perfecta regularidad, y enteramente lisa, camina con rapidez sorprendente sobre el agua tranquila del canal, sin dejar tras sí cavidades ni señal alguna de su tránsito, sin fenómeno ninguno por delante que anuncie la proximidad de su llegada, y sin alteracion ninguna en su forma, aun despues de recorrer grandes espacios.

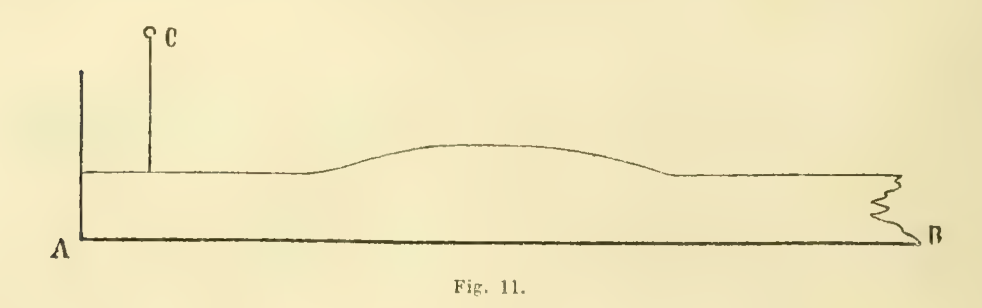



Fig. 11.

En vano aguarda el observador que la gibosidad descienda al nivel del líquido, para convertirse luego en cavidad, como sucede con las undulaciones que estamos acostumbrados á contemplar en las aguas remansadas cuando un grave al caer turba su equilibrio.

Protuberancia, gibosidad, ó alto relieve al principio, protuberancia, gibosidad ó alto relieve continúa siendo despues, y protuberancia ó gibosidad permanece todavía al cabo de mucho tiempo; siempre con admirable simetría en sus contornos, siempre adelantando con velocidad uniforme en el supuesto canal

de fondo horizontal, y siempre con tan tenaz autonomía y aptitud á recorrer, sin cambio ni alteracion, grandísimas distancias, que Scott Russell hubo de calificar de extraña y singular LONGEVIDAD esa persistencia á caminar sin cambio ni modificacion (1).

«No puedo dar mejor idea del fenómeno—dice el mismo Scott Russell (2)—que describiendo las circunstancias en que se me apareció la primera vez. Yo estaba contemplando el movimiento de una barca, por un canal estrecho, de la que dos caballos tiraban rápidamente. De pronto, habiéndose parado el barco, no sucedió lo mismo con la masa de agua que él llevaba puesta en movimiento, antes bien ésta se acumuló hácia la proa en violenta agitacion; pero, en seguida, dejando de golpe á la barca tras de sí, se lanzó á caminar hácia adelante con gran celeridad, adoptando la forma de una sola y única gibosidad redondeada, lisa y de contorno perfectamente determinado. La onda continuó su marcha por el canal, sin que su forma ni su velocidad pareciesen experimentar cambio ninguno. Yo la perseguí á caballo, y la encontré avanzando siempre con una velocidad de 8 á 9 millas por hora, y conservando todavía su figura inicial—(como unos 30 piés de base *a b*, y $1\frac{1}{2}$ de altura *c d*).

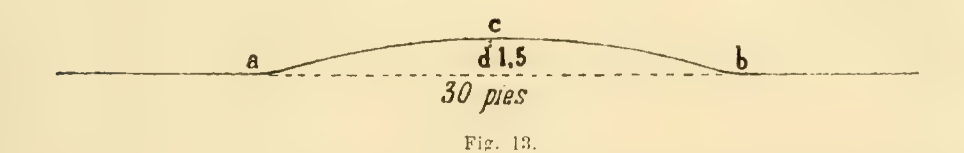
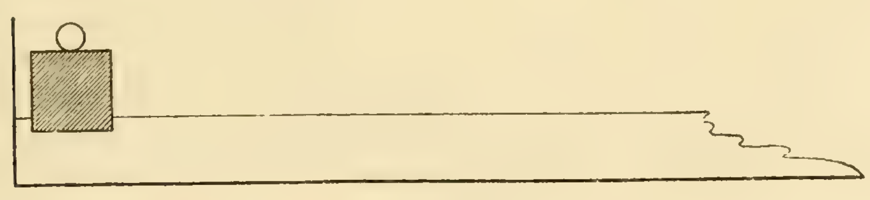


Fig. 13.

»La altura de la onda empezó luego á disminuir; y, despues de haberla seguido todavía 1 ó 2 millas, se me perdió en las sinuosidades y recodos del canal.»

---

(1) La gibosidad líquida puede producirse acabando de introducir en el orígen del canal un cuerpo sólido que ya tuviese en el agua su parte inferior, ó bien moviendo paralelamente á sí mismo, y perpendicularmente á la direccion del canal, una superficie plana de la misma seccion. En general la onda solitaria aparece siempre que en un punto se aumenta rápidamente el volúmen del agua de un canal.


Fig. 12.

(2) Report of the 14th meeting of the British Association for the advancement of science, held at York in September 1844. London, 1845.

Lo esencial y distintivo de esta onda es, por tanto, su carácter de protuberancia móvil, su existencia enteramente en relieve, sola, y sin acompañamiento de otras ondas oscilatorias, y su gran longevidad y aptitud para propagarse sobre la superficie del agua remansada. SCOTT RUSSELL por esto le dió la significante denominacion de onda SOLITARIA, con lo cual hubo de distinguirla genéricamente de las gregarias ú ondas de oscilacion, en que, á una elevacion del líquido sigue siempre una depresion próximamente igual, de tal manera que el agua oscila de abajo para arriba y de arriba para abajo á iguales distancias próximamente de su nivel primitivo de reposo.

## VI.

Supongamos ahora que el canal donde se halla remansada el agua, sea tambien rectangular, pero de fondo no ya horizontal, sino suavemente inclinado.

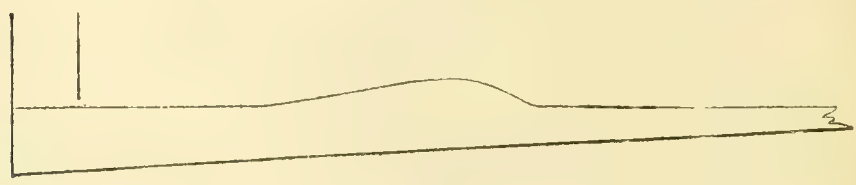


Fig. 11.

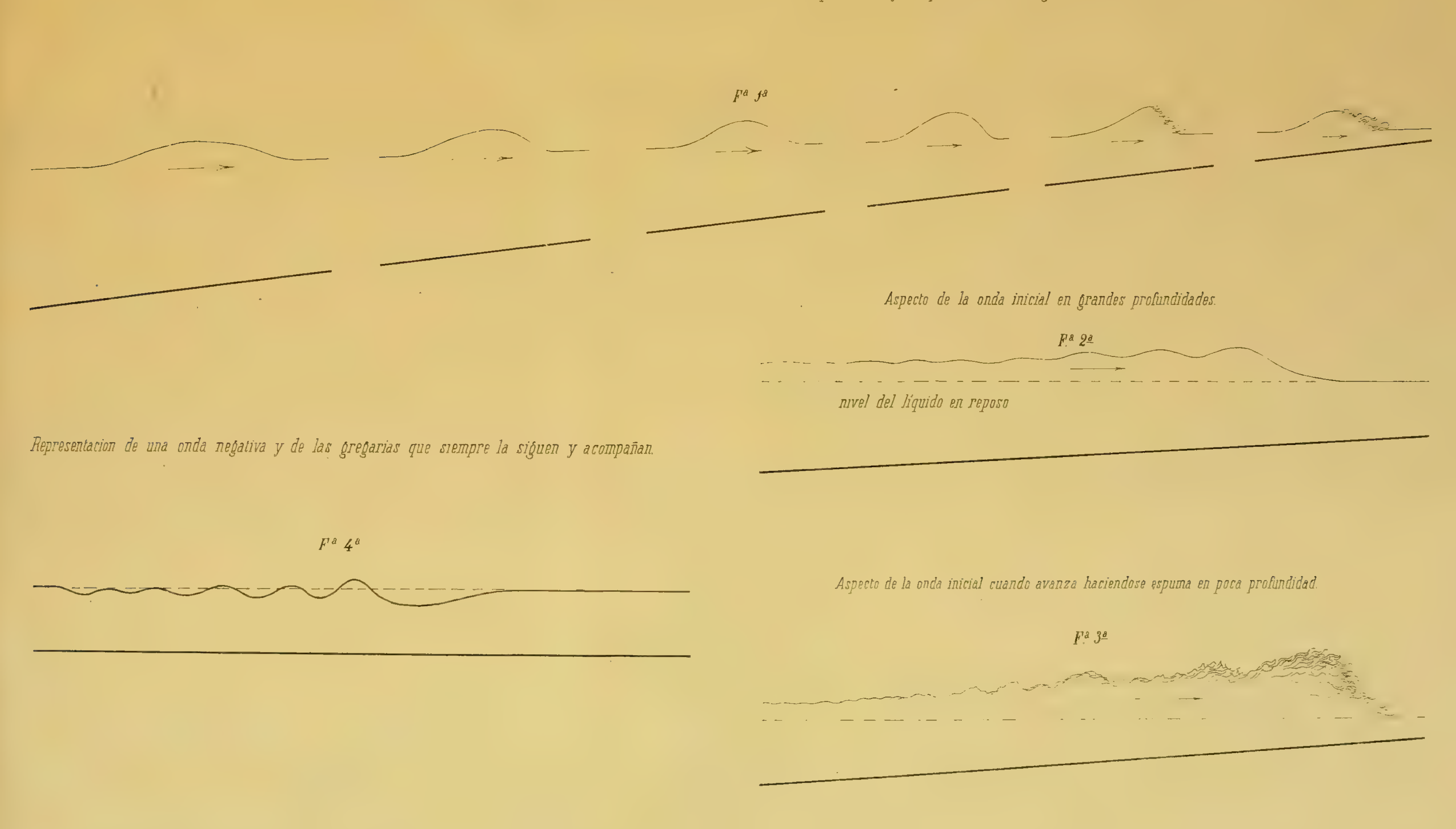
Si inyectamos, como antes, una pequeña masa de agua por la parte de más fondo, se formará tambien la gibosidad solitaria; pero, á medida que avanza hácia el extremo de menor profundidad, irá experimentando notables modificaciones.

Al partir, cuando camina sobre una gran profundidad, presenta la forma lisa y de perfecta simetría que ya conocemos; mas, con el decrecimiento de la profundidad, se va acortando la base de la onda solitaria y aumentando su altura; su forma se hace cada vez más aguda, la cresta empieza á inclinarse ligeramente hácia adelante; y, en fin, cuando la profundidad del agua en el canal se aproxima á ser igual á la altura de la onda sobre el primitivo nivel del agua remansada, la cresta se rompe súbitamente, deshaciéndose de pronto en espuma, y desapareciendo la perfecta lisura de la forma que hasta entonces habia conservado. *(Fig. 1.ª, lám. 1.ª)*

La onda solitaria no puede, pues, propagarse sino sobre una profundidad de agua algo superior á su altura (1).

---

(1) En algunos casos, si no se toman prudentes precauciones, la agitacion, producida por la súbita inyeccion del agua causadora de la onda solitaria, da lugar á fenómenos que parecen complicar el análisis de las observaciones. La onda solitaria parece seguida


Cambios de forma sucesivos de una misma onda solitaria, á medida que disminuye la profundidad del agua en el canal.
Fª 1ª
Aspecto de la onda inicial en grandes profundidades.
Fª 2ª
nivel del líquido en reposo
Representacion de una onda negativa y de las gregarias que siempre la siguen y acompañan.
Fª 4ª
Aspecto de la onda inicial cuando avanza haciendose espuma en poca profundidad.
Fª 3ª

## VII.

¿Se producirá tambien la onda solitaria en un canal rectilíneo, rectangular y suavemente inclinado, cuya agua no esté estancada, sino corriendo? Sí: se produce.

Y ¿cuál es el efecto, si el sentido en que la onda se propaga es el mismo de la corriente, ó bien en contra suya? Cuando la onda solitaria camina en el mismo sentido que la corriente, conserva bastante bien sus caractéres; pero, cuando avanza en sentido contrario, pierde más pronto su regularidad de formas, y su altura disminuye mucho antes que en agua remansada: alteraciones tanto más pronunciadas cuanto mayor es la velocidad de la corriente.

## VIII.

Hasta ahora la proyeccion de la masa de agua causadora de la onda solitaria era única é instantánea.

Pero imaginémonos que á una primera proyeccion siguen otras varias, de segundo en segundo, todas introducidas en el canal durante un espacio de tiempo inapreciable, y entonces tendremos una série de ondas muy próximas y todas en alto relieve, que se propagarán una tras otra, y en la hipótesis de una profundidad uniforme del canal tendrán todas la misma altura y la misma velocidad. Si el fondo no es horizontal las crestas se inclinarán hácia adelante. *(Véase la lám. 1.ª)*

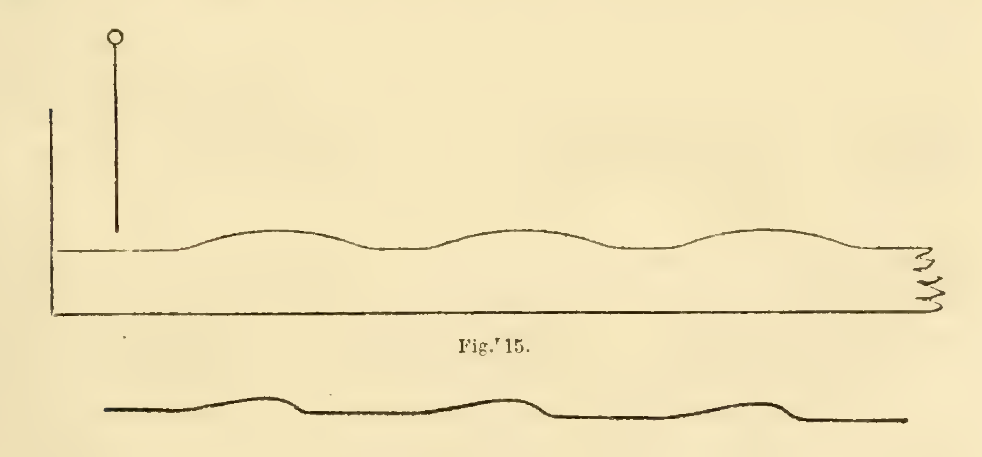


Fig.ª 15.

Fig. 16.

---

de ondas oscilatorias ó gregarias, producto de la agitacion y de los salpicones del agua inyectada, pero que nada tienen que ver con la gran onda.

Por otra parte, muchas veces, cuando se inyecta en el orígen del canal demasiada agua, la onda solitaria toma, por supuesto, desde luego su forma y su camino, pero, des-

Pero, si en vez de sucesivas inyecciones intermitentes, la introduccion del agua fuera contínua, entonces la proyeccion propia é individual de cada instante haria nacer su correspondiente onda solitaria, y la cresta de cada una estaria (en general) tan próxima á la de la anterior y á la de la subsiguiente, que el conjunto de todas presentaria el aspecto de una balsa, tonga ó loma de agua que se deslizara rápidamente sobre la superficie del agua en reposo; es decir, que, si la salida del líquido es contínua, las ondas individuales de la série caminarán tan próximas unas á otras, que se reunirán sus crestas en una sola planicie móvil y elevada sobre el nivel del agua en reposo.

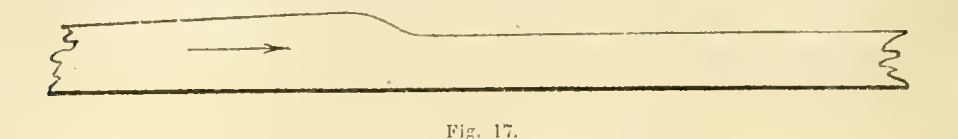


Fig. 17.

La base de esta loma ó reunion de ondas solitarias, no tendria ya longitud determinada y precisa, como antes, sino que sería tan elongada cuanto durase la introduccion del agua que le hubiera dado nacimiento.

Pero la experiencia presenta un hecho inesperado.

La altura de la onda inicial es bastante mayor que la elevacion de la estepa de agua que la sigue, cuando la profundidad del canal es grande, ó exígua relativamente la cantidad del agua introducida; en cualquiera de las cuales condiciones, los contornos de la onda inicial (ó sea la que marcha á la cabeza de la propagacion) son perfectamente regulares, lisos y redondeados. Pero, á medida que la loma de agua se adelanta sobre aguas ménos profundas, empieza á hacerse más y más aguda en su vértice; un como hervidero poco pronunciado se deja ver en la cresta, que aparece inclinada hácia delante; y, en fin, cuando la profundidad es muy pequeña, la tendencia á formar burbujas se va acusando rápidamente, hasta que, en cuanto ya no hay fondo bastante, la cabeza de la loma líquida acaba por convertirse ruidosamente en una barra de espuma. *(Fig. 1.ª, lám. 1.ª)*

Estas apariencias sucesivas se producen con un mismo caudal de agua contínuamente inyectada si, por causa de la inclinacion del fondo, va disminuyendo progresivamente la altura del agua en el canal, ó bien si, no variando la profundidad de éste, se aumenta gradualmente el caudal de la inyeccion.

Por supuesto, en el agua tranquila del estanque no se nota ningun signo precursor de la llegada de la onda inicial de la loma líquida; pero por detrás el

---

embarazándose del agua sobrante, da lugar á ondas-resíduo *(residuary waves)*, que siguen á la primera con menor altura y menor velocidad; de modo que todas estas ondas, bien que juntas al principio, comienzan á separarse desde luego, y se apartan más y más á medida que caminan. La onda, no pudiendo ser más alta que el fondo, se deshace del sobrante líquido, por una especie de análisis espontáneo.

agua queda animada de una cierta velocidad en el sentido de la propagacion de la planicie móvil.

Esta velocidad de la planicie de la loma es fenómeno digno de gran consideracion.

## IX.

Figurémonos ahora un canal de agua en reposo: establezcamos en él una corriente, dejando salir el líquido por uno de sus extremos; y supongamos que, cuando está ya el fluido en movimiento, interceptamos totalmente y de pronto la salida (1), dejando, por ejemplo, caer una compuerta. El líquido se eleva inmediatamente contra el obstáculo, perdiendo su velocidad, y, sobre el nivel natural de la tranquila corriente que habíamos establecido, se alza una loma de agua, como en el caso anterior, la cual se propaga en contra de la direccion de la corriente; y, mientras la ya elevada agua se remansa y la líquida tonga se propaga hácia lo alto, continúa fluyendo sin visible modificacion la corriente que viene desde arriba.

La altura de la onda inicial de esta loma es en agua profunda un poco más alta que el plano líquido que la sigue.

Pero, si poco despues de interrumpida la corriente y de formada la loma de agua que marcha canal arriba, se levanta la compuerta para permitir de nuevo el tránsito del agua, entonces la loma líquida toma una longitud finita, que continúa por supuesto su propagacion en contra de la corriente, como antes.

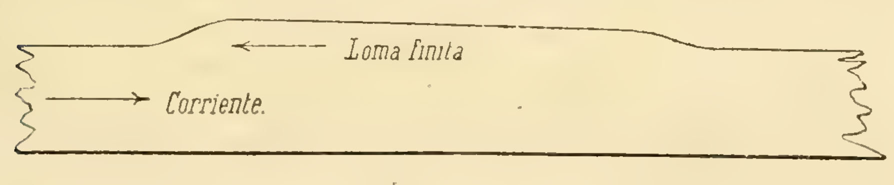



Fig. 18.

La propagacion de esta loma limitada y aislada va retardándose progresivamente y la altura decreciendo; de suerte que, al cabo de algun tiempo, la tonga movible viene á desaparecer, aunque no tan pronto que no pueda recorrer largos espacios—(más ó ménos segun las circunstancias de la corriente y del canal).—Los cuerpecillos flotantes en la corriente experimentan violentas sacudidas cuando llegan al sitio en que se encuentran la corriente que baja y la

(1) No es absolutamente preciso que la corriente quede del todo interceptada. Basta cualquier disminucion súbita del gasto, para que aparezca una loma de agua caminando contra la corriente.

loma que sube; y, si afectan la forma de barquichuelos, quedan tumbados y envueltos por el agua en el movimiento ascensional con que trepan bruscamente á lo alto de la loma (1).

## X.

Veamos otro caso de gran aplicacion á las mareas.

Si, establecida una primera corriente en un canal rectangular algo inclinado, la interferimos con las aguas de otra segunda corriente en sentido opuesto, entonces se forma acto contínuo en el punto de encuentro una loma de agua, que se propaga canal arriba, como la marea en la parte marítima de un rio.

Si el volúmen de agua de la corriente que sube es inferior al de la que desciende por el canal rectangular, entonces esta corriente arrastra á la segunda, pero no sin dejar por eso de formarse una loma líquida que marcha canal arriba, constituida á expensas de las aguas del canal, como en el caso en que fueron súbitamente detenidas por el brusco descenso de la compuerta. Pero si el volúmen de la segunda corriente es superior al del canal, entonces, sin dejar tampoco de formarse la loma ni de propagarse aguas arriba, constituyen la tonga líquida, no solo las aguas descendentes del canal, sino que la engrosan las de la corriente que sube. Por último, si la masa de la segunda corriente es igual á la del canal, quedará ésta completamente detenida y remansada en toda la longitud de la loma que se forme.

## XI.

Estas ondas solitarias y lomas en alto relieve se pueden mirar como positivas, respecto de las depresiones de que vamos ahora á hablar.

Si en vez de dar nacimiento á la onda solitaria introduciendo súbitamente en el canal un cuerpo sólido, ó bien un cierto volúmen de agua, retiramos del fluido un sólido préviamente sumergido en él, ó bien dejamos escapar una pequeña masa del líquido existente (y al cual, aunque no es preciso, supondremos en reposo para mayor facilidad), entonces obtendremos un hueco ó cavidad, que se propagará por el canal de un modo semejante al de la propagacion de la gibosidad, protuberancia ú onda solitaria en alto relieve que acabamos de describir. *(Véase lám. 1.ª, fig. 2.ª)*

La similitud no es completa, sin embargo.

Esta cavidad ú onda en hueco (que llamaremos negativa en oposicion á la onda en alto relieve) no puede obtenerse nunca sola (ó á lo menos hasta ahora no han logrado producirla ni Russell ni Bazin). Siempre va acompañada de

---

(1) Estos experimentos fueron hechos la primera vez por Bidone en 1823, y publicados en el tomo XXX de las memorias de la Academia de Turin.

ondas de oscilacion. Además, la onda negativa no parece dotada de la singular longevidad de la positiva, puesto que no le es dado recorrer sin alteracion sensible distancias considerables. Nunca coexiste con una positiva. No son mitades gemelas. Por último, sus formas no aparecen nunca acusadas y precisas.

## XII.

Bidone experimentó en canales de algunos metros de longitud; Russell no siempre sobre grandes masas de líquido; Darcy y Bazin produjeron siempre las ondas solitarias en canales de centenares de metros y de gran profundidad (1).

No puede, pues, quedar duda acerca de la realidad de las ondas solitarias, tanto respecto de las en alto relieve, cuya propagacion constituye un fenómeno bien definido, y cuyas leyes se formulan fácilmente; cuanto de las negativas, no tan acusadas, ni por consiguiente tan fáciles de estudiar.

Scott Russell estudió las ondas solitarias producidas en aguas tranquilas: Bazin las observó, así en aguas remansadas como en aguas corrientes; y, no solo hizo experimentos relativamente á las solitarias, positivas y negativas, sino tambien relativamente á los acúmulos ó conjuntos de las solitarias que constituyen las lomas líquidas,—indefinidas ó finitas—sobre las cuales ya habia publicado Bidone muy estimables observaciones.

Bazin se limitó á determinar la velocidad de propagacion de las ondas solitarias; pero Russell no se ciñó á la sola determinacion de su velocidad, sino que dirigió sus investigaciones ¡obra admirable del genio! á la forma y naturaleza de este extraño movimiento de undulacion.

---

(1) Los primeros experimentos de Darcy y Bazin se hicieron en un canal rectangular de 2 metros de ancho y de 432$^{m}$ de longitud, con una ligera pendiente de $1^{1}/_{2}$ por 1000 en el fondo; las profundidades del agua variaron desde 0,682 á 0,307 metros en la extremidad mas profunda, las cuales quedaban reducidas en la opuesta, por causa de la pendiente del fondo, á 0,441 y 0,066 metros.

Iguales observaciones se hicieron en el Canal de Borgoña: unas en un tramo de seccion rectangular y de 6,50 metros de ancho por 2,40 metros de profundidad; y otras en un tramo de la vertiente del Saona, cuya seccion, aunque irregular, puede reducirse á un trapecio de 10 metros de ancho en el fondo, con taludes inclinados de 2 de base por 1 de altura, suavizados en su parte inferior y cortados casi verticalmente á la altura ordinaria de las aguas. (Véase Perez de la Sala, *Construcciones en el mar*, y Bazin, *op. cit.*)

XIII.

¿Cuál es, pues, la ley de esta propagacion?

Llenemos de líquido rojo, y de igual densidad que el agua, el espacio comprendido entre la pared $PP'$ del canal, y la compuerta $C$: levantemos luego

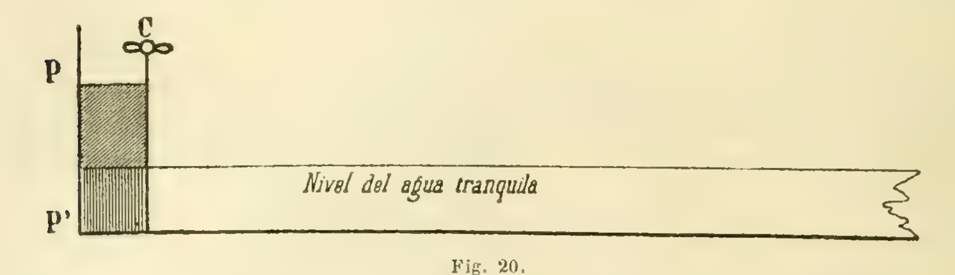



Fig. 20.

súbitamente la compuerta, y nos encontraremos que el líquido de color habrá tomado la posicion siguiente.

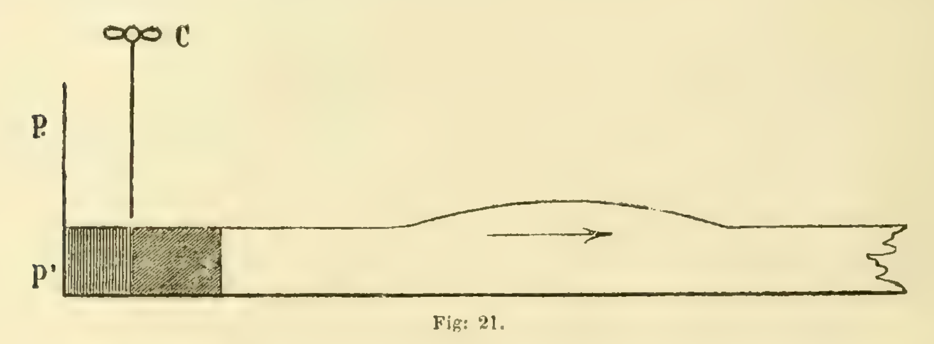



Fig: 21.

Si comparamos, pues, ambas figuras entre sí,

$$\begin{cases} bd = h \\ dg = H \end{cases}$$

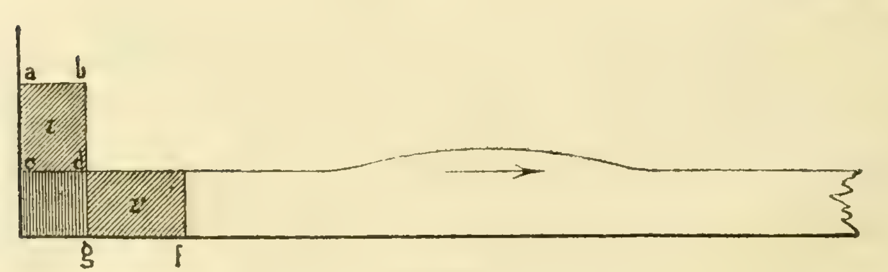



Fig. 22.

veremos que el prisma primitivo *abdc* ocupa ahora la posicion *defg;* y que el primitivo centro de gravedad $z$ ha bajado á colocarse en $z'$; ó, o que es lo mismo, $z$ ha bajado un espacio igual á

$$\tfrac{1}{2}\, bd + \tfrac{1}{2}\, dg = \tfrac{1}{2}\, bg.$$

*A priori* (1), pues, y dada la casi carencia de rozamientos, por la gran movilidad de las moléculas líquidas, podemos suponer que la velocidad de $z$ al llegar á $z'$ debe ser la final de un grave que hubiese descendido en el vacío la mitad de la altura $bg$, esto es:

$$\text{Velocidad} = \sqrt{g\,(H + h)}\,;$$

donde $g$ designa la conocida constante de la gravedad $= 9^{m},81$; $H$ la profundidad del agua remansada en el rectilíneo canal rectangular, y $h$ la altura del prisma *abcd* causador de la onda solitaria.

Ahora bien: supongamos sólida el agua, y que el líquido del canal seā un paralelepípedo *mnop*

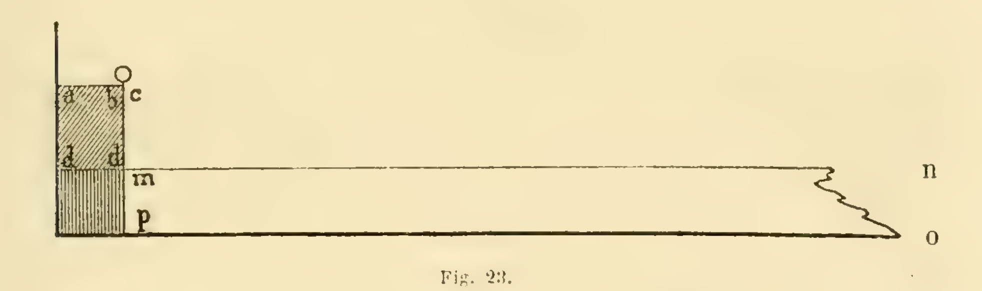



Fig. 23.

sin adherencia con el fondo ni lás paredes. Insertemos entre la compuerta $c$ y el grán páralelepípedo *mnop* el sólido *abdc*,

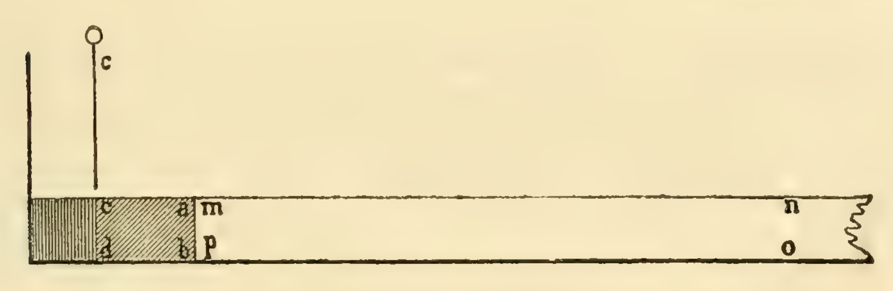



Fig. 24.

y es evidente que, si por la extremidad $n$ $o$ no existe impedimento, la gran viga de hielo *mnop* habrá viajado hácia la derecha toda la distancia $ca$, quedando luego en reposo, verificada la insercion.

---

(1) ¡Cuán fáciles son los *à priori*, despues de genios como Scott Russell! ¡Predecir el descubrimienio despues de hecho! ¡Ser profeta del pasado!

Y, si la masa de hielo no fuese contínua, sino que estuviera constituida por un gran número de pequeños paralelepípedos rectangulares $mm'p'p, m'm''p''p'$,

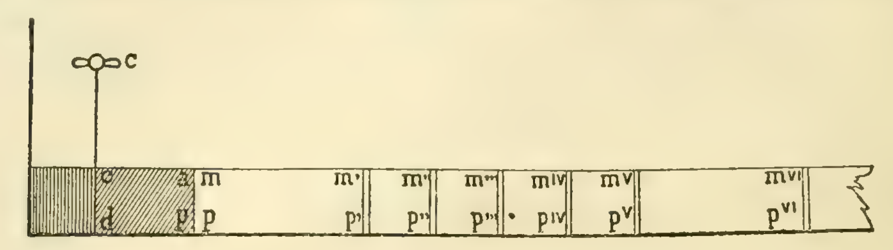



Fig. 25.

$m''m'''p'''p''$..... entonces cada uno de los planos $mp, m'p', m''p''$,.... habria viajado hácia la derecha la misma distancia $ca$,—ni más ni menos,—permaneciendo despues del reposo inalteradas las primitivas distancias $mm'$, $m'm''$, $m''m'''$..... de los paralelepípedos.

Pero, si la enorme viga de hielo no pudiera viajar hácia la derecha, y, sin embargo, insertásemos entre ella y la compuerta el mismo prisma *abdc*, entonces, por la impenetrabilidad de la materia, habria tenido que producirse una elevacion ó protuberancia en la masa del hielo que antes de la insercion

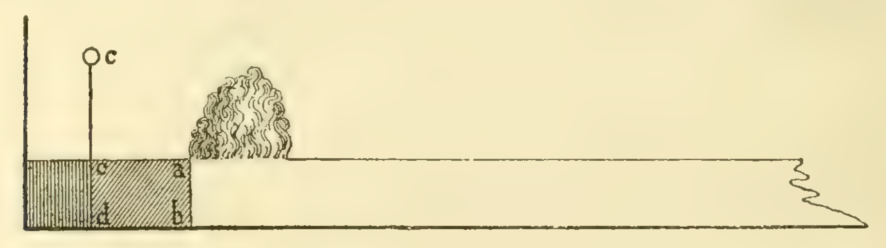



Fig. 26.

se hallaba junto á la compuerta, siendo el volúmen de la protuberancia precisamente igual al del prisma desplazador *abdc*.

Ahora bien: insertemos tambien esta primera protuberancia entre el prisma *abcd* y el resto del gran paralelepípedo; y, si tampoco este se mueve, no




Fig. 27.

podrá verificarse esta segunda insercion sin que se produzca á la derecha otra segunda protuberancia de igual volúmen; por manera que, para un observador distante, la apariencia de la protuberancia habria viajado; aunque la gibosidad se halle compuesta ahora por moléculas distintas de las de antes (puesto que

las constitutivas de la primera protuberancia se encuentran ya en reposo, por hipótesis, á la distancia $ca+ca$ de la compuerta). El espectador, pues, verá el viaje de una forma, pero no echará de ver los movimientos verdaderos de las moléculas materiales, substratum de esa forma.

Con hielo la figura de las protuberancias podria ser vária, y permanecer.

Pero, con líquido, la gibosidad no puede tener otra figura más que la de la onda solitaria, segun la hemos descrito repetidamente: el equilibrio hidrostático y la undulacion hidrodinámica lo exigen así.

El prisma, pues, causa de la undulacion:

1.° Se encuentra, al caer, con otro prisma líquido contíguo;

2.° No pudiendo llevárselo hácia adelante, lo adelgaza, elevándole una parte de la masa igual á su volúmen;

3.° Y, en el lugar desalojado, se aposenta y establece, en reposo, definitiva y fijamente el prisma causador.

Ahora bien: la parte que del primer prisma del canal elevó el primitivo prisma causador de la undulacion, se halla, despues de elevado, sin condiciones hidrostáticas de equilibrio: por fuerza habrá de descender tanto como el primitivo prisma que lo elevó, y, necesariamente, habrá de producir otra elevacion igual en el nuevo prisma inmediato, adelgazándolo tambien, y aposentándose en el espacio desalojado..... y así sucesivamente. Las fuerzas y movimiento de cada seccion vertical del canal no son, pues, más que repeticiones de las fuerzas y movimientos de la seccion primaria, génesis de la onda: cada seccion vertical recibe el impulso primitivo: se adelgaza y eleva, lo transmite, y entra acto contínuo en reposo en el lugar desalojado.

¡Por manera que la ondulacion solitaria no es más que una forma preciosísima de conservacion y transmision de la energía: un vehículo de la potencia almacenada en el prisma primario causador del movimiento! ¡Fulguracion del genio de Scott Russell! (1) Así, pues, puede transmitirse la fuerza á lo lar-

---

(1) Seguramente el lector, en los felices años de su niñez, habrá hecho Regimientos de cartas; y, soplada suavemente la primera, habrá visto con indecible júbilo caer *muertos* todos los soldados, trasmitiéndose rápidamente el movimiento del 1.er naipe al 2.°, y de éste al 3.°, y del 3.° al 4.°..... y asi sucesivamente hasta el último.

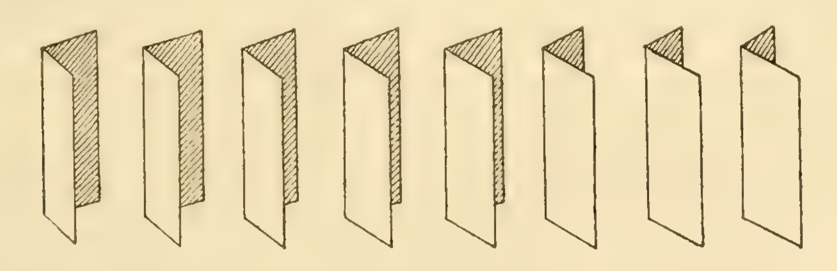


Fig. 28.

En este infantil entretenimiento hay un ejemplo notable: 1.° de transmision de fuerza

go de un canal hasta muchas leguas de distancia con la celeridad de un tren expreso, y almacenarse de nuevo si, cuando llega la undulacion al otro

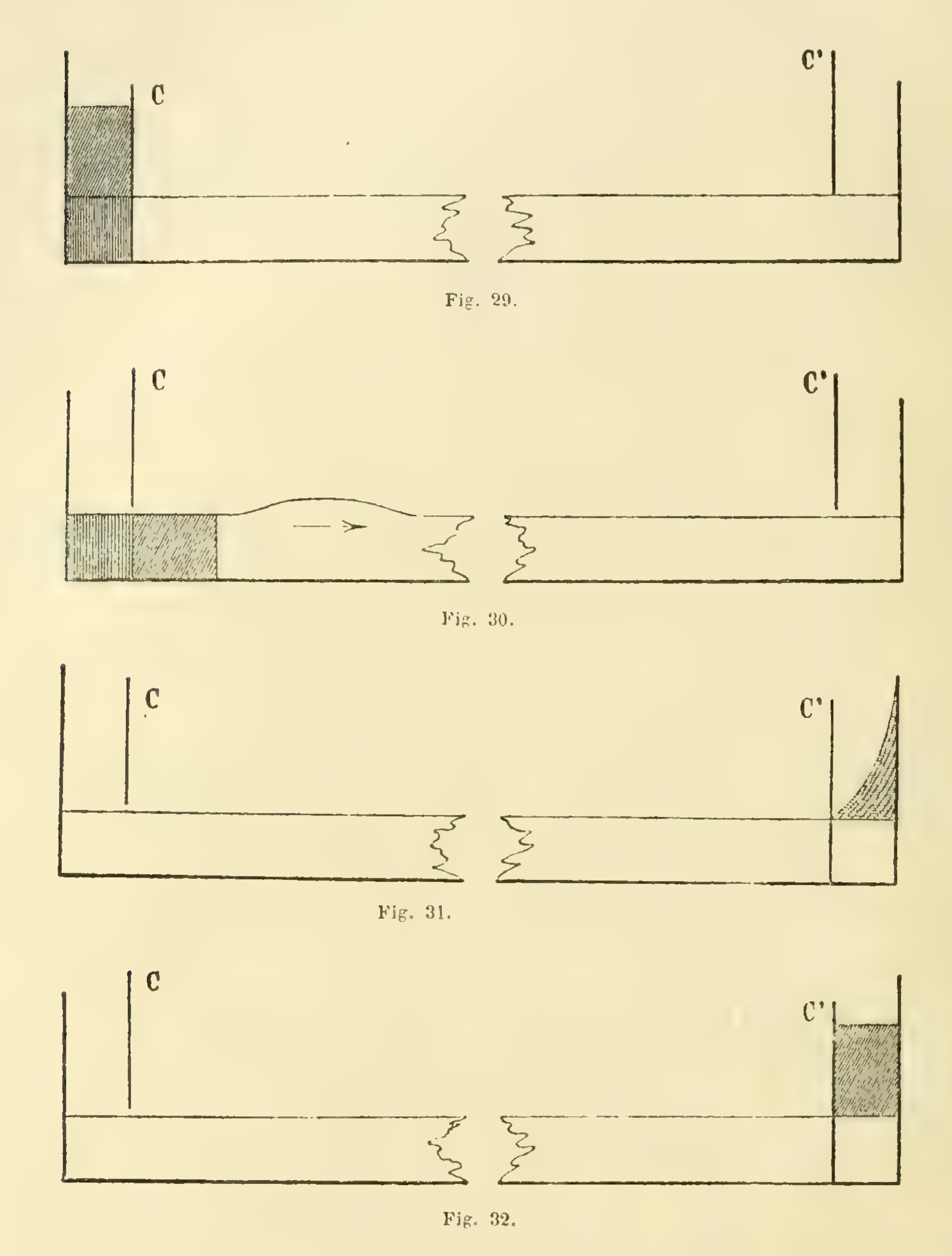



Fig. 29.

Fig. 30.

Fig. 31.

Fig. 32.

extremo, se represa el líquido dejando caer otra compuerta; y así, análoga-

desde el primer naipe hasta el último, 2.° de propagacion rápida de una undulacion, 3.° de avance y translacion, especialmente de la cresta de cada carta, 4.° del inmediato reposo absoluto de cada naipe, despues de su avance y despues de la comunicacion del impulso recibido.

mente, puede tambien devolverse la fuerza al punto de partida, caso de ser en él necesaria nuevamente; y solo se habrá perdido, *in transitu*, una pequeña

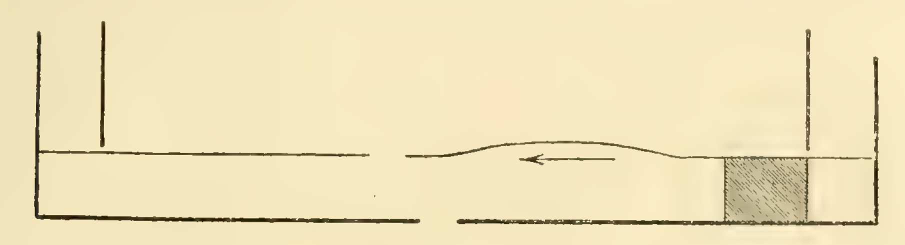


Fig. 33.

cantidad de la potencia, por razon de los rozamientos y de la viscosidad del agua.

En la onda solitaria tendremos, pues:

1.° Transferencia de una forma por espacio dilatado;

2.° Transmision de fuerza á grandísimas distancias con velocidad pasmosa en funcion solo de la profundidad que tenía el líquido en reposo y de la altura sobre éste de la cresta de la ondulacion.

$$V = \sqrt{g(H+h)} = \left\{ \begin{array}{l} \text{á la de un grave, despues de recorrer} \\ \text{la mitad de la altura, contada de la} \\ \text{cresta al fondo en un canal rectan-} \\ \text{gular (1),} \end{array} \right.$$

3.° Translacion (2) real de todas y cada una de las moléculas á una distancia igual al cuociente del volúmen del agua, causa de la undulacion, partido por la seccion del canal:

$$\text{Distancia de translacion} = \frac{\text{Volúmen.}}{\text{Seccion.}} \ (3),$$

4.° Volúmen de la onda solitaria, siempre igual al volúmen del prisma pri-

(1) The velocity of the wave is one of the great constants of nature; and is to the phœnomena of the fluids what the pendulum is to solids,—a connecting link between time and force. *(Engl. Cyclop.)*

(2) Por esta razon denominó SCOTT RUSSELL en 1843 definitivamente ONDA DE TRANSLACION á su ONDA SOLITARIA, la cual se conoce en la actualidad más bien por la segunda denominacion que por la primera. Obvio es que este movimiento de translacion de la materia es diferente del movimiento de transmision de la fuerza (ó sea la undulacion).

(3) Esta translacion, en el caso de la onda solitaria, no será observable sino tomando grandes precauciones de experimentacion (tales como sumergir en el canal corpúsculos de igual densidad que el agua, teñidos de color, etc.). Pero la translacion se hará visible sin esfuerzo en el caso de una loma líquida, por ser esta una série de ondas solitarias muy próximas; y ya hemos hecho notar (final de la Seccion VIII) que la planicie móvil sigue á la cabeza de la loma, animada de una cierta patente velocidad.

mario causador de la undulacion; por lo cual la onda tiene definida forma y necesaria dimension: así, pues, si disminuye la base tiene que aumentar la altura, y vice-versa.

Prisma *a b c d*, cantidad constante. = base × altura.

## COROLARIOS.

1.° La velocidad de la propagacion de la onda, siendo funcion de la profundidad del canal y de la altura de la cresta, es independiente de la forma de su generador y de la celeridad mayor ó menor del originario impulso. El que solo vea la onda ya formada no podrá decir cómo se originó, si por inyeccion de un líquido, ó introduccion de un sólido, de prisa, despacio, etc.

2.° En igualdad de fondo, á mayor altura de cresta corresponde mayor velocidad de propagacion. A cresta insignificante, velocidad correspondiente solo á la profundidad del canal.

En canales diferentes y cresta insignificante, las velocidades son entre sí como las raices cuadradas de las profundidades: $V : V' : : \sqrt{H} : \sqrt{H'}$

3.° El volúmen de la onda, de consiguiente, jamás se halla constituido por las moléculas mismas del prisma causador de la undulacion, sino por otras, y luego otras, y otras despues, y.....

4.° Jamás las moléculas de la onda en una estacion *A* son las de otra estacion *B*, ní las de ésta las de otra tercera estacion *C*, etc.

¡Peregrinacion, pues, de una forma sin su substancia! ¡Transmision de una fuerza sin el viaje de su agente!

5.° La onda lo mismo hace sentir su accion en la superficie que en el fondo del canal (1).

6.° En una seccion vertical de moléculas líquidas, perpendicular á las paredes del canal rectangular, cada molécula tendrá dos movimientos:

Uno hácia adelante,

Otro hácia arriba al empezar, y hácia abajo al concluir:

(1) Este es uno de los principales caracteres de la onda solitaria (ó de translacion, como la llaman hoy los más de los autores). Las ondas oscilantes ó gregarias, por el contrario, hacen sentir su accion á cortísima distancia de la superficie. Airy dice: «En las olas de no mucha amplitud, el movimiento disminuye (á medida que se desciende) con un grado de rapidez, que nadie puede imaginar á primera vista. Suponed una onda de 10 piés ($3^{m}$,04) de amplitud de cresta á cresta. Pues si descendeis otros 10 piés bajo la superficie, vereis que la agitacion del agua no llega á $^{1}/_{500}$ de la de la superficie; y, si todavía bajais otros 10 piés más, la agitacion se encontrará disminuida 500 veces más, y así en progresion geométrica.»

Cada molécula, pues, describirá una curva, cuya concavidad mirará hácia el fondo del canal.

Fig. 34.

La sagita de cada una de estas curvas disminuye con la distancia al fondo, donde la sagita es cero.

Pero la excursion de translacion es igual para todas las moléculas en tiempo y en espacio (1).

7.° Si cada seccion vertical de moléculas líquidas se avanza paralelamente á sí misma, entonces un plano sólido muy delgado y de igual densidad que el agua, inmergido perpendicularmente á la longitud del canal, no podrá estorbar la propagacion de la onda (2).

---

(1) Todas las moléculas que constituyen el plano vertical *a b c d e*..... llegan en el mismo instante los á planos verticales *a' b' c' d'*...., *a'' b'' c'' d''*....., etc., lo cual quiere decir, que la molécula *a* ha tenido que caminar más que la *b*, y más aún que la *c*....., y mucho más que la *g*..... Ahora se comprenderá que cuando los niños forman *regimientos de cartas*, hay, como en la onda solitaria, propagacion de una undulacion, transporte de las moléculas de

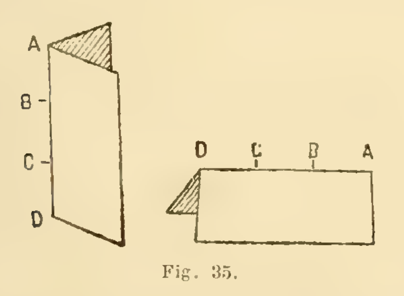



Fig. 35.

cada naipe, y reposo subsiguiente; pero que en el *modo* del movimiento no hay analogía; pues, despues del transporte, las hileras verticales del líquido vuelven á quedar verticales y á las mismas distancias primitivas del fondo, mientras que las de los naipes quedan en reposo perpendicularmente á la posicion inicial, y á otras distancias del plano de la mesa que los sostiene.

Todos los puntos *A B C D*..... han descrito cuartos de círculo, de radio diferente, pero en el mismo tiempo.

(2) If floating spherules be arranged (when the water is in repose) in one vertical plane at right angles to the direction of transmission and carefully observed during transmission, it will be noticed that the spherules remain in the same plane during transmission, and repose in the same plane after transmission. It is further found that a thin solid plane, transverse to the direction of transmission, and so poised as to float in that position, does not sensibly interfere whith the motion of translation and transmission. (Scott Russell.)

## XIV.

Hemos establecido solo en virtud de consideraciones *à priori* la fórmula

$$V = \sqrt{g\ (H + h)};$$

Pero ¿que dice la observacion?

Pocas veces se ha confirmado tan satisfactoriamente un principio, como la experiencia ha corroborado la importantísima ley de Scott Russell.

La conformidad de la fórmula con los hechos, especialmente con los observados en grande por Bazin, es todo lo rigorosa que puede apetecer la más exigente experimentacion. La fórmula, sin embargo, no aparece tan exacta para las ondas negativas; pero los desvíos pueden racionalmente atribuirse á las dificultades de la observacion, y á la produccion de las ondas oscilantes que siempre la acompañan.

La velocidad, pues, de las ondas positivas y negativas en agua remansada es por consiguiente, segun dicen los experimentos,

$$V = \sqrt{g\ (H \pm h)}\ ;$$

de donde se deduce que, si en un canal producimos primeramente una onda negativa, y despues una positiva, ésta alcanzará muy pronto á aquella, lo que confirma la experiencia (1) efectivamente.

Esta fórmula resulta tambien exacta para las lomas líquidas, siendo entonces $h$ la altura inicial de la intumescencia, ó sea la de la onda que marcha á la cabeza de la planicie, y no á la altura de ésta.

Ahora bien: para un observador que se moviera con la misma velocidad de una corriente en la extremidad más alta de la cual se hubiera inyectado de pronto una masa líquida bastante á producir una onda solitaria, la velocidad aparente de la protuberancia ó alto relieve sería

$$V = \sqrt{g\ (H + h)};$$

pero, para otro observador situado en la márgen del canal, la velocidad absoluta resultaria

$$V = \sqrt{g\ (H + h)} + U,$$

siendo $U$ la velocidad de la corriente.

---

(1) Si se encuentran en direcciones opuestas una onda positiva y otra negativa, se anulan respectivamente, y el agua recobra su tranquilidad si son iguales, ó bien resulta una onda equivalente á la diferencia cuando son desiguales. (La Sala, *Construcciones en el mar.*

Así lo ha confirmado satisfactoriamente la experiencia. Para onda que marchase subiendo contra la corriente, la fórmula deberia ser

$$V = \sqrt{g\,(H + h)} - U,$$

y, aunque no tan conforme con los datos de la observacion, ha resultado en todo caso bastantemente aproximada.

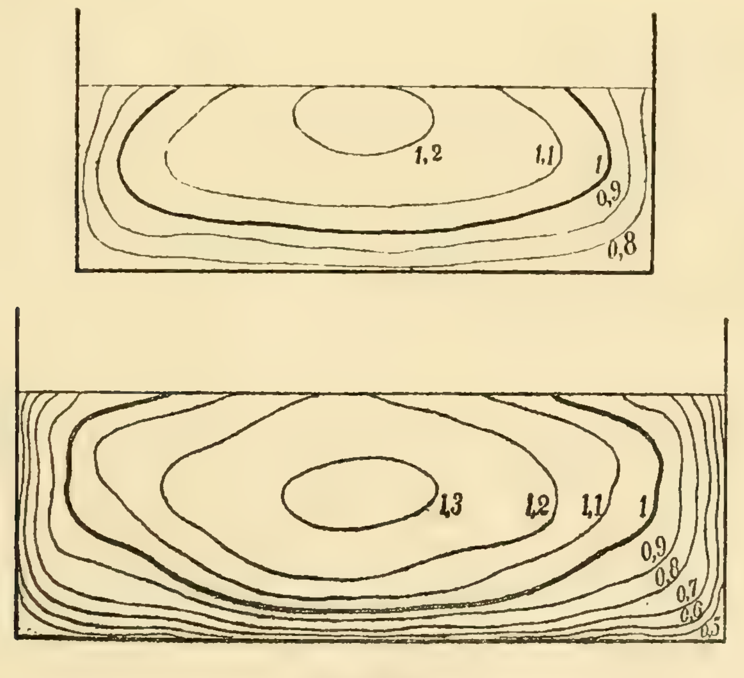
Ahora bien: cambiando el signo de $h$ para las ondas negativas, tendremos que, en general, la velocidad de las ondas estará bien representada por la expresion

$$V = \sqrt{g\,(H \pm h)} \pm U,$$

donde, cuando $U$ sea cero, tendremos el caso de las ondas positivas ó negativas en aguas remansadas.

Esta expresion general, bastante probable *prima facie*, no podia, sin embargo, ser evidente para Bazin, y necesitaba tambien la sancion de la experiencia, porque este infatigable observador habia ya descubierto —por medio de laboriosísimas mediciones— que las moléculas de la corriente de un canal no marchan todas animadas de una velocidad idéntica (1).

Las curvas de los filetes de igual velocidad en una seccion vertical y perpendicular á la direccion de la corriente, afectan cerca de las paredes del canal la forma de éste, pero tienden á formas cerradas á medida que los filetes se acercan hácia el eje.




Figs. 36 y 37.

(1) Véase la primera parte de la admirable obra *Recherches hydrauliques*.

La curva más gruesa y más oscura es la de la velocidad media $= V$.

Las otras curvas indican velocidades iguales á

$$\ldots\ldots 0{,}7V;\ 0{,}8V;\ 0{,}9V;\ 1{,}1V;\ 1{,}2V;\ldots\ldots$$

La velocidad mayor está en el centro: las escabrosidades de las paredes retardan la marcha de las moléculas contíguas: éstas algo ménos las que las tocan; éstas á las inmediatas bastante ménos, etc.

La velocidad máxima se encuentra tanto más lejos de la superficie cuanto mayor es la profundidad del agua en movimiento con respecto á su anchura. Y así, mientras que en un canal ancho y somero la mayor velocidad está muy poco por debajo de la superficie, en un canal cuya profundidad difiere poco de la anchura, los filetes de mayor velocidad se encuentran ya hácia el centro de la seccion.

Esto debia ciertamente modificar los fenómenos; y, en efecto, la conformidad entre la observacion y el cálculo no es, como hemos hecho notar, tan completa en aguas que se mueven como en el caso de aguas tranquilas. La desigual velocidad en los diferentes puntos de la seccion puede, pues, alterar—y á veces altera de un modo muy sensible—los resultados del cálculo.

La discrepancia empieza á observarse cuando la onda solitaria se propaga contra la corriente; y se hace tanto más visible cuanto mayor es la rapidez del agua. (Ya hemos dicho que el alto relieve móvil pierde no solo la admirable regularidad que lo distingue en aguas tranquilas, sino tambien su aptitud á recorrer dilatadas distancias.)

La dificultad es todavía mayor para las ondas negativas: la seccion de un canal trapecial (1) hace conjeturar una influencia de caracter desconocido; la altura de la loma parece igualmente introducir perturbaciones: tambien influye el rozamiento del líquido..... todo en virtud de leyes que no se han podido aún determinar. Sin embargo, la fórmula (rigorosamente exacta para la onda positiva en el caso especial de un líquido estancado) aparece siempre bastante satisfactoria para todos los demás (2).

---

(1) De experimentos especiales hechos por Russell resulta que la forma no rectangular de la seccion transversa de un canal modifica la fórmula

$$\sqrt{g\,(H+h)},$$

pues es necesario poner para $H$ la profundidad media de la seccion transversa, y no su profundidad máxima, cuando se trata de canales triangulares, parabólicos, etc.

Bazin no ha dirigido especialísimamente sus experimentos hácia esta modificacion exigida por la seccion transversa de un canal no rectangular, aunque algo ha trabajado en este sentido.

(2) De la fórmula se deduce que $U$ y $(H+h)$ podrán llegar á ser tales que la onda cese de avanzar. Tambien se deduce, como consecuencia, que podrá avanzar más fácilmente cerca de los bordes del canal, donde la velocidad de los filetes líquidos es menor. El rozamiento y la forma de la seccion modifican á veces este resultado, estableciendo una

Hay un caso al cual no cabe aplicar las fórmulas; porque las velocidades que da el cálculo son demasiado grandes comparadas con las resultantes de la observacion, desde que, faltando fondo, hace espuma la onda que se propaga hácia la parte más somera de un canal inclinado.

La experiencia tambien ha confirmado que detrás de la cabeza de una loma líquida se establece un movimiento de traslado ó viaje de las moléculas en el sentido de la propagacion. El nivel del agua no puede desde entonces estar horizontal; y, en efecto, la experiencia tambien hace ver una cierta inclinacion en el sentido del movimiento: por lo cual la superficie de la loma presenta, en circunstancias normales, una suave concavidad, tanto más pronunciada, cuanto mayor es la masa de agua, causa de la planicie, ó menor la profundidad del canal.

Que la onda solitaria debe sus propiedades al hecho de extenderse hasta las partes más profundas del canal el movimiento causador, parece brillantemente evidenciado por la observacion de que, cuando un bote se mueve en un canal con ciertas condiciones, la onda que lo acompaña se propaga, si se pára el barco, primeramente con la velocidad que este tenia, y por consiguiente sin relacion ninguna con la profundidad; pero, un poco despues, cuando ya la elevacion superficial se ha hecho sentir hasta el fondo, como la de un cuerpo que cae, entonces, y solo entonces, la onda se pone á caminar conforme á la ley de Russell.

Por último, si la masa primaria causadora de la undulacion, al hundirse en el canal, no hace más que almacenar su energía en una segunda masa de agua equivalente, desalojándola de su posicion, levantándola conforme á las leyes de la hidrodinámica, y aposentándose acto contínuo (la primaria) en el sitio desalojado, para establecerse definitivamente allí en perfecto reposo; si la segunda masa hace lo propio con otra tercera, y la tercera con otra cuarta..... sin tregua é indefinidamente, no debe ya admirar de modo alguno la gran longevidad de la onda solitaria; porque, atendida la casi perfecta movilidad de los líquidos, no puede perderse en estos desalojes, elevaciones y aposentamientos sucesivos, más que la insignificante energía que, *in transitu*, deban consumir, tanto la escasa viscosidad del líquido, como sus rozamientos con el fondo y las paredes.

---

compensacion entre la menor profundidad y el rozamiento, y la menor rapidez de la corriente. Véase La Sala, *constr. en el mar.*

Scott Russell, para fijar puntos de referencia en la memoria respecto de la fórmula

$$V = \sqrt{g(H + h)},$$

produce los números siguientes.

| Profundidad del canal rectangular. | Velocidad de la onda solitaria. |
|---|---|
| A $2^1/_2$ pulg. ingl. | Corresponden $2^1/_2$ piés por segundo. |
| 15 piés ingls. | » 15 millas por hora. |
| 90 brazas ingls. | » 90 millas por hora. |

Por último, digamos que las ondas de translacion se cruzan y compenetran sin cambio de ningun género, del mismo modo que se atraviesan los círculos producidos en un estanque por la caida de leves piedrecillas.

## XV.

Estos seductores experimentos,—ya de por sí sobrado interesantes como lujosas anexiones á los crecientes dominios de la Verdad,—han acrecentado su excepcional importancia por su fácil é inmediata aplicacion á los fenómenos del mar.

Por de pronto la ley de Scott Russell ha servido para explicar el pororoca, haciéndolo salir de las oscuras regiones de lo excepcional.

Supongamos que la marea sea una série de ondas solitarias, una gigantesca loma líquida.

Cuando sobre el estuario formado por las aguas fluviales en la desembocadura de un gran rio, llega el primer alto relieve de una gigantesca serie de ondas solitarias procedentes de alta mar, tiene este alto relieve líquido que disminuir necesariamente su velocidad, por ser esta, como ya sabemos, igual á la de un grave despues de haber recorrido la mitad de la profundidad que el agua tenga.

La gibosidad de esta primera onda se hará más aguda (acortando la base y aumentando la altura); lo cual viene á ser lo mismo que si se aumentara de pronto el fondo de la parte marítima del rio. La segunda onda, encontrando ya más fondo, caminará con más rapidez; alcanzará naturalmente á la primera; la engrosará formando un todo con ella; será luego igualmente detenida la masa líquida, suma de las dos; su gibosidad comun acortará de base y crecerá de altura, contribuyendo así á aumentar el fondo: la tercera onda alcanzará por tanto á las dos anteriores..... y así sucesivamente.

De este modo, pues, por la parte inferior de la loma marítima, lo somero de los fondos detiene el avance de las aguas oceánicas; pero, por la parte superior, continuando la velocidad de la marea, el agua se atropella sobre sí misma; y cuando llega á formar un frente abrupto, escarpado, y como cortado á pico verticalmente, la monstruosa mole líquida se precipita sobre las aguas fluviales, como una furiosa catarata semoviente, con la fuerza de una avalancha irresistible, y con un estrépito espantoso que se oye á muchas millas de distancia (1).

---

(1) Es notable que Bremontier, fundándose en consideraciones independientes de la ley de Scott Russell, no descubierta aún, hubiese dado (1809—*Recherches sur le mouvement des ondes*) una explicacion semejante, al tratar del macareo del Dordoña.

Y, como si esto no fuera ya bastante, puede acrecentarse la intensidad del fenómeno si, mientras tanto, las olas de la superficie del mar, producidas por los vientos, conservando su individual velocidad, alcanzan y hasta se adelantan al conjunto ó loma líquida de las ondas solitarias, engrosando así su destructor caudal. Elevándose de este modo más pronto y con más empuje la mole delantera ó de vanguardia, y detenida su parte inferior más poderosamente que en aguas más profundas lo habria sido, la onda de translacion—así exagerada—invade dislocadamente las márgenes, cada vez más y más someras para tamaña elevacion de las aguas de alta mar; la marcha de la loma se entorpece; las olas la alcanzan; la montaña líquida se irgue tremebunda; las siguientes olas de alta mar le saltan por encima; y, desde la tajada cresta de la retardada loma, caen estas olas como desde lo alto de un ingente malecon, sobre las detenidas aguas del rio, y cuanto encuentran al paso en su carrera de muerte queda instantáneamente destruido y sepultado con vertiginosa rapidez (1).

Cuando por el efecto de una disposicion local llegan á encontrarse dos pororocas que siguen distintas direcciones en una misma masa de agua, entonces ellos se atraviesan y compenetran, continuando cada cual su marcha distinta é individual cual si no se hubiesen atravesado (2).

Como decisiva comprobacion de la influencia del fondo en los fenómenos del pororoca, se ha observado que nunca son más terribles sus estragos que en la época del estiage.

El macareo del Sena es, pues, mucho más violento en el equinoccio de otoño que en el de primavera, porque por octubre el caudal del rio es pobre, y por marzo se halla engrosado con las lluvias y avenidas de sus afluentes.

## XVI.

¡Cuántos habrán sido los hombres que en la larga série de los siglos han estado contemplando las olas de la mar, para adivinar la causa que hace deshacerse en espuma ruidosísima tanto lujo de fuerzas iracundas al llegar á la humilde arena de las playas!

¡Cuántos hombres habrán dicho como Lucano: «Yo me resigno á la igno-

---

(1) La teoría del pororoca ha servido de base para la explicacion de varios fenómenos acústicos antes inexplicados, como el doble estampido de una sola arma de fuego oido á gran distancia, ó bien la aceleracion de un sonido sobre otro. En óptica no se ha descubierto aún lo análogo; pero, como la produccion del pororoca depende de circunstancias externas á la naturaleza intrínseca de las ondas, no es imposible que existan sistemas cristalinos que lo reproduzcan, en virtud de distintos poderes de refraccion ó polarizacion. Véase *The English Cyclopædia.*

La influencia de la profundidad es tanta, que durante el pororoca del Indo los barcos, en el centro del rio, están relativamente exentos del riesgo seguro que en las orillas los amenaza.

(2) V. Bazin, *Rech. Hydr.*

rancia que los dioses han querido imponer á los hombres.» Y sin embargo, la clave del enigma estaba contenida en una bien sencilla fórmula:

$$V=\sqrt{g(H+h)}\pm U.$$

Pero ¡para determinar á $g$ se necesitaba un NEWTON! ¡Y para aplicarlo un RUSSELL! ¡Y para saber que tanto movimiento de las olas se convierte en elevacion de la temperatura, la pléyade de hombres eminentes que han evidenciado la teoría mecánica del calor; RUMFORD, GROVE, MAYER, JOULE.....!

El fenómeno más frecuente en las orillas del mar—la llegada de las olas y su fraccionamiento en espuma estrepitosa—es una série incesante é infatigable de pequeños pororocas. El pororoca tiene que descender de su trono de horrores para reducirse al rango de un fenómeno vulgar.

Las olas de alta mar son ondas gregarias ó de oscilacion, consistentes en una mitad negativa á la cual sucede siempre su gemela positiva.....

Pero, en cuanto el fondo disminuye, la parte negativa se acorta y se retarda, la positiva crece y se acelera, y el doble fenómeno continúa hasta que, irguiéndose la engrosada intumescencia hasta una altura de equilibrio inestable, rellena y colma la ya reducida cavidad, y el conjunto de las masas líquidas avanza sobre las riberas como onda solitaria, experimentando, por insignificante que sea su masa, los efectos del decrecimiento de la profundidad. La parte inferior sufre un retardo en su marcha, la parte superior se levanta sobre la parte retardada: de ahí la elevacion de la ola, lo abrupto de su frente, y, cuando la cresta avanza más que la base, su giro ó revolucion sobre sí misma, con ó sin penacho de crinada espuma; y, en fin, su dilatacion y esparcimiento ascensional sobre la suave rampa de la arena.

Así, pues, aunque las olas en alta mar sean ondas gregarias ó de oscilacion, todas se convierten en ondas solitarias cuando llegan á la orilla (1), cuya extension (á veces de muchos centenares y miles de metros) se encuentra toda cubierta de ondas de translacion, sin que entre ellas se descubran los grupos oscilantes de las ondas gregarias. Por esto el agua de las olas, clara en alta mar, se hace turbia en las costas; y por eso las olas tempestuosas acarrean á las playas, arenas, guijarros, detritos, plantas marinas, esponjas, restos de embarcaciones naufragadas, conchas, mariscos y cadáveres; lo que no harian, á ser siempre gregarias y nunca de translacion.

Las olas, como ondas de oscilacion, no conmoverian más que la superficie de los mares; pero como ondas de translacion remueven hasta el fondo. Mien-

---

(1) Junto á las orillas, la marcha de las olas se retarda y altera, no solo por el obstáculo que les pone el lecho del mar, sino tambien por los materiales de que se cargan, y que transportan; y esto sucede, tanto más notablemente cuanto más se acercan á la orilla.—CIALDI.

tras las olas son vaivenes oscilantes, los buques no tienen por qué temerlas; pero, cuando se hacen translaticias (precisamente en las cercanías de los bajos fondos), arrastran á los barcos contra los escollos y los arrecifes, donde suelen irresistiblemente encallar ó hacerse trizas.

## XVII.

No solamente la fórmula

$$V = \sqrt{g\,(H + h)} \pm U$$

explica el eterno rompimiento de las olas, y la excepcionalmente gigante periodicidad del pororoca, sino que tambien da razon, así del paralelismo de las ondas con las playas de las ensenadas y bahías, como igualmente de las desviaciones de esta coincidencia, fenómeno bastante general.

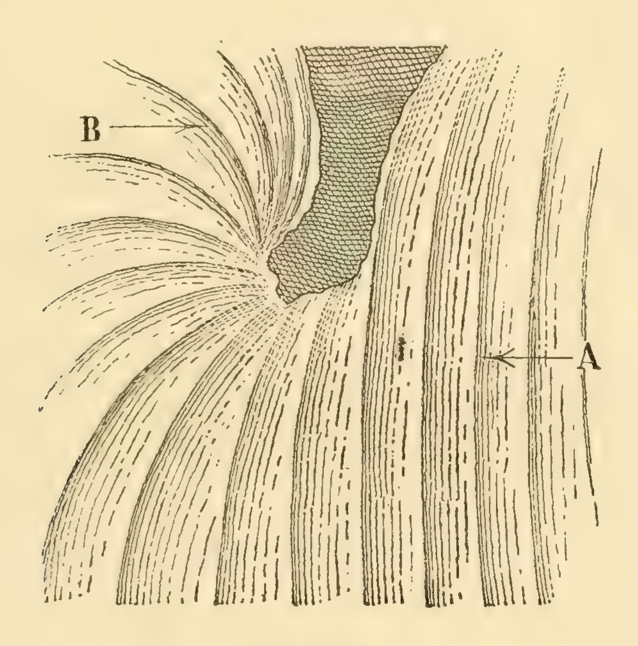



Fig. 38.

Supongamos ondas que se mueven desde alta mar en la direccion de la flecha $A$: donde haya fondo suficiente continuarán en su misma direccion; pero, donde disminuya, se retardará la marcha, y las olas parecerán compañías de soldados haciendo variaciones de frente; de tal modo, que pueden acercarse á la orilla opuesta segun la flecha $B$, es decir, en direccion enteramente contraria á la inicial $A$. Esto se ve en Cádiz con frecuencia.

Pero concibamos una costa tajada á pico:

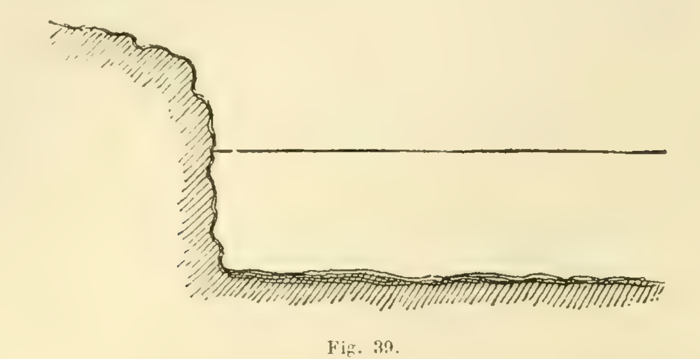


Fig. 39.

Si avanzan en direccion normal al plano del papel, las olas al pasar junto á ella, no cambiarán de velocidad, puesto que la profundidad del fondo no varía; y, por consiguiente, tampoco variarán de direccion, como en el anterior ejemplo.

## XVIII.

Sin embargo, pudiera modificar el sentido de la marcha la reflexion de la onda en la costa. Y aquí hay que notar otra diferencia entre la undulacion solitaria y las gregarias. Para éstas el ángulo de reflexion es igual al de incidencia. Para aquella no siempre. Solo se verifica la igualdad entre el ángulo incidente y el reflejo cuando es nulo ó muy agudo el ángulo formado por la

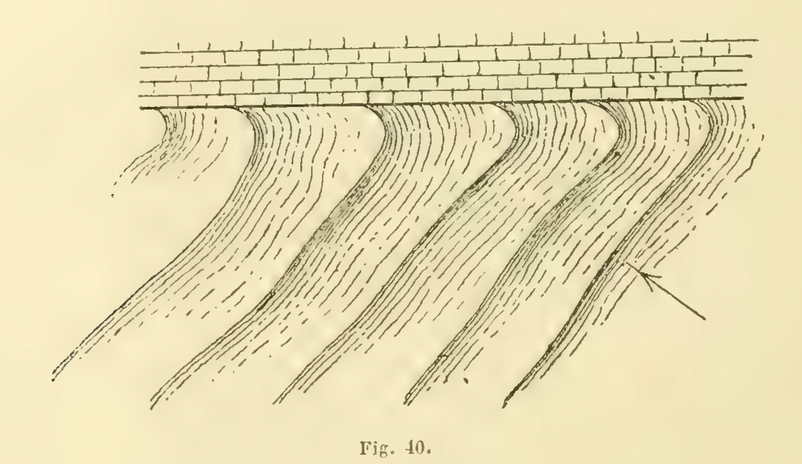


Fig. 40.

direccion de la onda y una normal al plano reflejante. Si la onda solitaria choca con el plano en direccion perpendicular, entonces se refleja por completo, y retrocede marchando en direccion contraria, sin experimentar ninguna otra modificacion ni en su amplitud, ni en su altura, ni en su velocidad, ni en su

energía. Lo mismo sucede si la direccion de la propagacion y la de la normal son casi paralelas; pero, cuando la perpendicular al plano reflejante y la direccion de la onda son muy divergentes, entonces la igualdad no se verifica, y la reflexion cesa de ser total á 45°: la masa reflejada es bastante menor que la incidente; y á 60° toda reflexion es imposible, porque, en vez de la reflexion, aparece un nuevo fenómeno, la acumulacion lateral del agua.

El líquido se acumula en el punto de contacto; aumenta allí el fondo; la onda se acelera, por consiguiente, y toma una forma curva, como manifiesta la *fig.* 40.

Y hé aquí por qué en ciertas costas la marea deja atrás la onda de que forma cuerpo, y se aparta de la direccion general.

## XIX.

Siendo la profundidad elemento necesario de la velocidad en la onda solitaria ó de translacion, la velocidad habrá de ser índice seguro de la profundidad (1).

Si, pues, en un canal rectangular, profundo 4 ½ piés, la onda solitaria camina á razon de 12 piés por segundo; si luego el canal, haciéndose somero, por ejemplo de 2 piés de profundidad, solo permite á la onda marchar con una velocidad de 2 piés; si despues el canal vuelve de pronto á ser más hondo, por ejemplo 8 piés, lo cual hace que la onda se acelere, adquiriendo de repente una velocidad de 16 piés por segundo; y si todo esto ocurre *por necesidad*, entonces, inversamente, cuando observemos una velocidad de 12 piés, de 8 ó de 16, deberemos deducir que la profundidad del canal, es respectivamente de 4 ½, de 2 ó de 8 piés.

Ahora bien: considerando á la marea como onda solitaria, y midiendo su velocidad, se ha encontrado, dice BABINET, que la profundidad del Canal de la Mancha entre Plymouth y Boulogne es de 60$^{m}$. Y agrega: «La prodigiosa rapidez de las ondas de la marea en las mares profundas (600 kilómetros y más por hora) ha permitido, como si dijéramos, sondar los Océanos, dándonos por término medio 4.800 metros de profundidad para el Atlántico y 6.400 metros para el Pacífico.» (2) Así, antes de conocerse por mediciones directas, se sospe-

---

(1) Tambien la longitud de la onda es otro índice de la profundidad. La onda en 4 piés de agua tiene una longitud de 8 yardas; en 2, de 4; en 8, de 16. La altura de la onda es, por tanto, otro índice seguro, pero muy difícil de medir.

(2) Véase *Mouvements de la mer*, BABINET. Pero no se olvide que estos números representan términos medios, no extremos. Por ejemplo, al Este de las Carolinas ha sondado EL CHALLENGER 8.367$^{m}$.

Fundándose en datos obtenidos durante la expedicion del mismo CHALLENGER, manifiesta WILD que en los lechos del Atlántico y del Pacífico existen inmensos valles á 5.265 metros bajo el nivel del mar. En el Pacífico, al Sur de Asia y alrededor de Australia, la profundidad es de 3.550 metros, y junto al Japon adquiere la de 6.800.

El Commander W. S. SCHLEY of the U. S. Steamer *Essex* ha verificado una série de sondeos desde San Pablo de Loanda, Africa, has-

chó que en el fondo del Atlántico se elevaba abruptamente el lomo de una sierra submarina que se extiende á todo su largo de Norte á Sur (1).

## XX.

Cuando la onda generada en un canal estrecho entra en un ancho receptáculo de igual profundidad, la onda se difunde lateralmente y su altura disminuye al esparcirse fuera de la línea de su generacion, *A*. Y, á medida que la difusion progresa, disminuye la velocidad, porque la profundidad de agua para la onda se aminora al difundirse, contándola, como es debido, desde la cresta al fondo. La onda entonces describe una curva, que parece tener los caractéres de un arco de elipse.

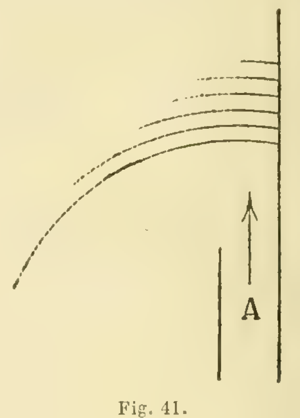


Fig. 41.

Ahora bien: si la marea es una onda análoga á la solitaria ó de translacion, esto explica (2) por qué presenta tantas diferencias, en orillas opuestas y cercanas, la marea que entra en el mar Germánico por el canal de la Mancha, y en el mar de Irlanda por el canal de San Jorge (3).

---

ta Cabo Frio, Brasil, via Santa Elena. La mayor profundidad entre Africa y Santa Elena ha sido de 5.600$^{m}$, y entre Santa Elena y Brasil 6.005,5. El perfil de los sondeos orientales y occidentales demuestra que la isla de Santa Elena se eleva perpendicularmente en casi 3.650$^{m}$. Hay una abrupta pendiente de 1.646$^{m}$ en los primeros 96 $^{1}/_{2}$ kilómetros de la costa africana, que se profundiza hasta 5.500$^{m}$ á la distancia de 1.126 kilómetros, en donde ya se verifica un completo cambio de fondo, desde fango hasta coral, roca y arena.

(1) In the Atlantic Ocean from a high southern latitude a broad channel with not less than some 12000 to 15000 f.$^{t}$ can be traced as extending nearly to the entrance of Davis Strait: a dividing undulating ridge of far depression, on which stand the islands of Tristan d'Acunha, Santa Helena y Ascension, separates this, which may be named the western channel, from a similar one running parallel to the South African continent and which extends to the parallel of the British Islands. It is possible that certain tidal and, indeed, climatic conditions peculiar to the shores of the North Atlantic, may be traced to this bottom conformation, which carries its deep, canal-like caracter into Davis Strait, and between Greenland, Iceland and Spitzbergen, certainly to the 80th parallel.—EVANS, 46 *meeting* of the Brit. Ass. p. 173.

(2) Tambien explica algunos anómalos fenómenos del sonido.

(3) La línea de pleamar simultánea, en cuanto toca en Africa y América por Cabo Blanco y Terranova respectivamente, se propaga hácia el Este y Norte hasta chocar en las costas europeas, sobre todo en las de Inglaterra, y allí se bifurca y pierde su carácter general, convirtiéndose en varias ondas locales, por decirlo así.

Estas ondas locales merecen especial mencion, no solo por la rareza de su variada marcha y por su magnitud, sino por la importancia de los sitios que recorren. Su velocidad en estos parajes viene á ser solo de 280 kilómetros por hora.

Una de las ondas se dirige, costeando, al Sur de Irlanda hácia el Norte por el Canal de San Jorge, y hácia el Este por el de la Mancha y paso de Calais, y la otra entra por el Norte de las Islas Británicas en el Mar de Alemania

## XXI.

Producida una onda solitaria, supongamos que se dirige hácia un canal cuyas paredes se hacen convergentes, á manera de cuña puesta de canto. El estrechamiento del canal acrecienta la altura de la onda, y la velocidad aumenta, por lo mismo que la altura crece: la base se alarga entonces, la cresta se achata, y la onda no rompe ya donde romperia, á no haberse angostado el canal.

Esto se explica fácilmente. Cuando una masa se pone en movimiento, ese movimiento es capaz de elevar la misma cantidad de materia á la altura desde la cual debia haber caido para adquirir la velocidad con que camina.

Pero, si el movimiento de la masa total se emplea en levantar una masa menor, ese movimiento total podrá levantar esa menor masa á una altura bastante mayor.

En los canales y bahías que se estrechan mucho, la cantidad de agua que




Fig. 42.

---

marchando hácia el Sur, y en el Canal de San Jorge con la misma direccion: en Lóndres llega la onda de pleamar 48 horas despues de haber principiado en el Océano Austral y en el brazo que separa á Irlanda de Inglaterra, chocando la onda que baja con la siguiente que sube, ocurre una confusion difícil de explicar, habiendo puntos en que las mareas

hay que levantar en la parte más angosta es considerablemente menor que la que velozmente penetra por la ancha entrada; y así, la elevacion de las aguas en el interior, es siempre mayor que á la embocadura.

Por esto, cuando es muy pronunciada la contraccion de las tierras ante una gran onda astronómica, como sucede en la bahía de Fundy ó el canal de Bristol..... la elevacion de las aguas es sobremanera sorprendente. En la bahía de Fundy (donde acaso se verifican las mareas más altas del mundo) llega la

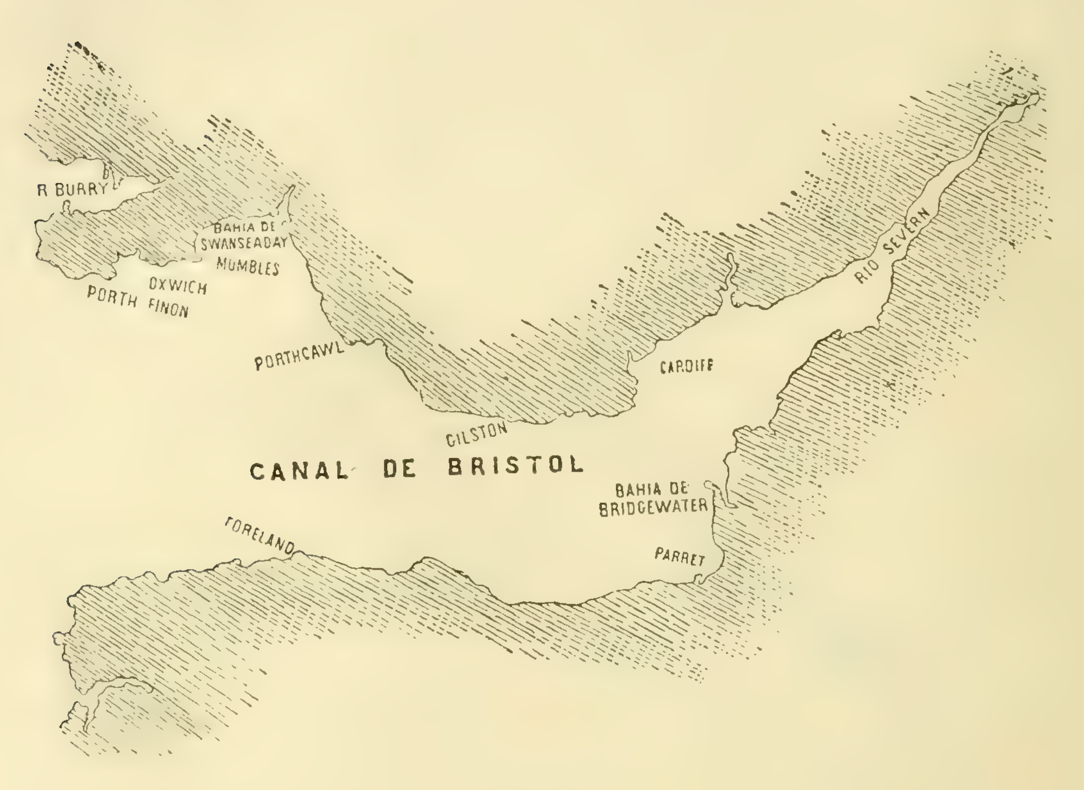



Fig. 43.

pleamar algunas veces á la altura de 20 metros. En Chepstow, sin ser la altura tan considerable, suele ascender á 60 piés ingleses.

## XXII.

En setiembre de 1836, Jarvis, Joness y Scott Russell, instituyeron observaciones en el rio Dee,—en Cheshire,—para ver si la marea se conducia como una onda solitaria. La experiencia respondió afirmativamente, en los casos más

son muy intensas, y otros en que recíprocamente se anulan por completo. El camino restante de la onda de marea hácia el Septentrion por Noruega y el Norte de Suecia y Rusia es poco interesante, y aun menos conocido.—Ferreiro.

dignos de fé. Las estaciones de observacion distaban $5\frac{1}{2}$ millas inglesas, y la profundidad média del canal de Dee era de 3 piés á marea baja.

Las orillas distan 500 piés.

En mayo de 1837 se hicieron nuevas observaciones en el rio y brazo de mar de Clyde, en Escocia, por Logan, Denham, Nicol, Kyle, Scott Russell y otros varios excelentes experimentadores.

Los observatorios fueron 9. La distancia recorrida por la onda de la marea, 18 millas. Los resultados, despues de discutidas las observaciones, fueron

| Velocidad de la onda de marea segun la observacion. | Profundidad media del rio. | Velocidad segun la fórmula $\sqrt{g(H+h)}$ |
|---|---|---|
| 20 millas por hora. | 25 piés. | 19,3 millas. |
| 8,1 » | 5 » | 8,6 » |
| 15 » | 15 » | 14,9 » |

XXIII.

La influencia del fondo está probada experimentalmente por otro medio eficaz y en gran escala: ahondando en 12 millas de longitud el lecho de un rio de marea, se consiguió que la onda astronómica ó fluxial caminase á razon de 15 millas por hora, cuando antes caminaba solo á razon de 10. (*Eng. Cycl.*)

XXIV.

Hay causas locales de perturbacion accidental.

Los cambios que ocurren en las costas y las playas, por efecto de los acarreos de arenas y de fangos, ó por las erosiones contínuas de las riberas y los fondos, se han encontrado tambien de grande influencia en el retardo ó aceleracion de las mareas. Mientras más someras se hacen las costas, más tarda la marea; mientras más profundas, más se acelera la llegada del gran flujo.

XXV.

Vemos, pues, que considerando á la marea como una onda ó loma líquida de las descubiertas por Scott Russell, es posible explicar:

La rompiente de las olas;

Su conversion desde ondas gregarias en ondas de traslacion;

El caso excepcional del pororoca;

El cambio de frente y giros de las undulaciones marinas;

Su paralelismo con las playas;

Sus desvíos de este paralelismo;

Su conformidad ó desconformidad con la ley general (á la cual obedecen las gregarias) que hace al ángulo de reflexion igual al de incidencia;

La dependencia entre la velocidad de las mareas y la profundidad de los océanos;

La difusion de la marea cuando entra en anchos mares por canales estrechos, y, por consiguiente, la notable diferencia de altura de las aguas en costas fronterizas;

Su acumulacion y elevacion considerable en senos y bahías cuneiformes;

Las diversas fases de su velocidad en los rios de marea;

El aumento de celeridad de la onda astronómica si se ahonda el cauce de los rios;

Y, por último, los retardos ó aceleraciones accidentales de las mareas, por efecto de los acarreos de arenas y de fangos, ó de las erosiones de las costas.

Pero ¿todas estas numerosas coincidencias, que ninguna otra hipótesis ha logrado explicar en modo alguno, son de naturaleza tal que nos autoricen justificadamente á considerar la propagacion de la marea como obediente á la ley de las ondas y lomas solitarias?

La analogía nos seduce hácia una contestacion afirmativa. La prudencia científica nos recomienda todavía la abstencion.

Por una parte los trabajos analíticos referentes á la marea deben mirarse más bien como ejercicios de altas matemáticas que como investigaciones físicas (1).

Y estos trabajos prescinden de la onda Russeliana. Véase el apéndice á este libro.

---

(1) The greater part of the investigations of M. Poisson and M. Cauchy under the name of «wave theory» are rather to be regarded as mathematical exercises than as physical investigations. (SCOTT RUSSELL.)

«La question si difficile et encore si peu approfondie des mouvements ondulatoires qui se produisent dans les liquides.....» (CLAPEYRON, DUPIN, PONCELET, COMBES, MORIN, Comisarios de la Academia de Ciencias de París, para informar sobre *les Recherches hydrauliques de* BAZIN.)

«Malheureusement les forces de l'analyse moderne n'ont pas prévalu contre les difficultés de la question.» (LOS MISMOS.)

«Por desgracia tanto la teoría de la ola, como su parte experimental, es muy poco conocida.» (PEREZ DE LA SALA, *Construc.*)

«Los estudios matemáticos nada pueden enseñar que prácticamente sea aplicable á nuestro objeto.» (EL MISMO.)

«Physicists well know the complication of tidal phenomena, and, if one may be permitted to say, the imperfection of our tidal theory.» (EVANS, 46 *meeting of the British Association, pág.* 178.)

Segun BERNOUILLI, premiado en 1740 por la Academia de París, en el elipsoide Oceánico el agua se mantiene en equilibrio entre las atracciones hácia el centro de la tierra y las fuerzas perturbadoras de la luna y del sol. The results of that theory are found to differ greatly from the observed phænomena..... It has been found that the observed accelerations and retardations and also the absolute elevations of the water, in very few cases agree with the results of theory..... The theory, moreover, indicates that the difference between two consecutive tides ought to be very considerable in Europe; whereas they are known to be nearly equal to one another. (*Engl. Cyclop.*)

Por otra parte, los trabajos de experimentacion, aunque hechos en número prodigioso y con toda la escrupulosidad científica apetecible, se refieren á tan reducidas clases de fenómenos, que son á todas luces insuficientes para una gran generalizacion (1).

## XXVI.

Si las inmensas extensiones oceánicas al Sur de Australia, «water, water everywhere and not a drop to drink,» son el orígen de la inmensa onda general de la marea, y si esta onda es *per se* una onda colosal de traslacion, claro es que su velocidad habrá de ser variable, acelerándose ó retardándose con la profundidad mayor ó menor del fondo de los mares; y, como la velocidad del océano varía segun su configuracion geológica, de aquí que la velocidad de la onda astronómica de traslacion nunca haya de ser de movimiento uniforme. Ni tampoco podrá ser de direccion fija, por efecto de sus contínuos choques y

---

Segun Laplace, la expresion de la altitud de una molécula de agua sobre el nivel medio, en consecuencia de la perturbacion producida por el sol y la luna, resulta de 3 elementos. El 1.º no depende de la rotacion de la tierra, y puede despreciarse; el 2.º depende de la rotacion y del ángulo horario del cuerpo perturbador, é indica la marea diurna; y el 3.º depende del duplo del ángulo horario anterior, y consecuentemente representa la marea semidiurna.—De esta teoría dice Perez de la Sala: Desarrollada por Laplace, aunque con bastante oscuridad y algunos errores, ha resistido á los esfuerzos hechos posteriormente á su autor, por otros varios, para completarla, y no ha salido del estado de oscuridad é imperfeccion primitivas, en el que todavía se encuentra.

Airy ha calculado las mareas en conformidad con la teoría de las undulaciones; pero sus resultados, discutidos por Scott Russel (Report of the forteenth meeting of the British Association) distan mucho de la realidad.—Todas las teorías (las de Bernouilli, Laplace y Airy) concur in showing that the difference between the diurnal aud semidiurnal tides is greater in middle latitudes, and small at the equator and poles, and «in this respect» they are at variance with the actual phænomena. From observations it has been found that this difference is as great at certain places near the æquator as near the latitude of either tropic: it has also been found to be great at Petropaulowski and in Norfolk Sound, while in Europa it is small. *(British Cyclop.)*

(1) La conoscenza delle correnti, delle maree, delle onde, del terribile affratellamento de'flutti, la notizia della resistenza de'materiali che s'impiegano nelle costrutture idrauliche sono studi appena abbozzati. (Cialdi, *sul moto ondoso del mare*.

Si la teoría ha sido impotente hasta hoy, tratando de explicar fenómenos tan complicados como los que se presentan en las olas, no lo son menos los experimentos practicados. (Perez de la sala, *Construcciones en el mar.*)

There is one great feature common to all oceans and which may have some significance in the consideration of ocean circulation, as affecting the genesis and translation of the great tidal wave and other tidal phænomena of which we know so little, namely—that the fringe of the seaboard of the great continents and islands, from the depth of a few hundred feet below the sea level, is, as a rule. abruptly precipitous to depths of 10000 and 12000 ft. This grand escarpement is typic ally illustrated at the entrance of the British Channel, where the distance between a depth of 600 ft. and 12000 ft. is in some places only ten miles. Imagination can scarcelly realize the estupendous marginal features of this common surface-depression. (F. J. *Evans*. 46 *meeting*, 173.)

múltiples reflexiones los quebrantados escarpes de las montañas submarinas.

¿Qué dice acerca de esto la experiencia?

Nada verdaderamente que se oponga á la gran hipótesis de que la ley de la onda solitaria, aplicada á la marea, explica las perturbaciones del elipsoide líquido formado por las atracciones de la luna y del sol.

Hasta 36, 40, 50 y más horas despues de producidas, no llegan á nuestras costas europeas las mareas del sur de Australia, despues de haber avanzado, durante el intervalo, en toda clase de direccion por las reflexiones experimentadas en las costas, y con toda suerte de velocidades desde 10 á 100, y más millas por hora.

La onda astronómica de marea mejor estudiada es la de los océanos índico y atlántico; y, del conocimiento de las horas de pleamar en diferentes localidades, se deduce que la cima de esta onda avanza desde los mares situados al sur de Australia, hácia la bahía de Bengala y hácia el Golfo Pérsico; por lo que es sucesivamente la pleamar más y más tarde mientras más al norte están situadas las costas.

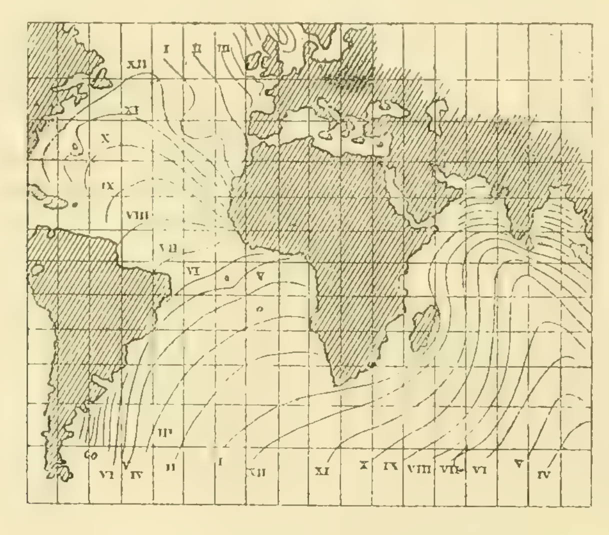


Fig. 41.

La cima de una sola y misma onda se extiende desde enfrente del Mar Rojo á lo largo de la costa oriental de Africa hasta el Cabo de Buena Esperanza, donde esta onda se junta á la que va hácia el norte del Atlántico; por lo cual, á su vez, la marea en cada puerto de las costas occidentales de Africa y de Europa se verifica más y más tarde, como igualmente en las costas orientales del norte de América. La onda, pues, que en cierto momento estaba en el Cabo de Buena Esperanza llega 15 horas más tarde á Brest y á la costa occidental de Irlanda. Por otra parte, una misma cúspide de onda, avanzando directamente de Este á Oeste, se extiende de Rio-Janeiro á las Islas Falkland; y, por la for-

ma de la América del Sur, la pleamar es cada vez más tarde, mientras más al Sur de Cabo Frio se encuentran las localidades, como si la onda caminase de Norte á Sur, aunque no es esa precisamente su direccion, segun evidencia el diagrama que antecede.

En la costa occidental de América la onda viaja de Norte á Sur entre Acapulco y el estrecho de Magallanes, mientras camina en direccion Norte desde Acapulco hácia California.

En el Océano Pacífico la onda marcha de Este á Oeste; pero la altura de la onda es solo de algunos pocos piés en las islas del mar del Sur.

La onda pareceria moverse de Este á Oeste, por causa de la rotacion de la tierra, si esta estuviese enteramente cubierta de agua. Y así sucede en el Gran Océano. Pero, al dar en las costas, experimenta desviaciones considerables, como la que hemos visto caminando con direccion al Sur desde Acapulco hácia el estrecho de Magallanes, y, en cierto modo, desde Rio-Janeiro al mismo estrecho.

En las orillas del Atlántico europeo (y baste este ejemplo entre tantos como pudieran aducirse) la onda llega á los límites de Irlanda, Inglaterra, y el Departamento de Finisterre en Francia, con direccion de Oeste á Este, y entonces cambia su curso de un modo muy notable. Una primera parte continúa avanzando por el Canal en su primitiva direccion: otra segunda sigue hácia el Norte lamiendo las costas de Irlanda y Escocia; y otra tercera, chocando con el Cabo Finisterre, gira hácia el Sur, hasta la bahía de Vizcaya.

Basta echar una ojeada sobre el mapa anterior para ver la influencia que en la direccion general de la onda astronómica ejercen las variaciones de frente que experimenta su mole al encontrarse con las costas.

Pero donde más se ve la influencia de la posicion de las tierras con respecto á la gran masa líquida de los océanos, es en la direccion Norte que desde el Mediodía de Australia llevan las aguas del hemisferio Sur.

En efecto, situados hácia el plano del Ecuador (de un modo muy general) los centros de atraccion de los dos grandes luminares, llamarian hácia ese plano, si la tierra estuviese sumergida en el seno de los mares, las aguas de ambos hemisferios, desde los polos y las zonas templadas en opuestas direcciones y con la misma cantidad de movimiento, dada la misma profundidad.

Pero, como del hemisferio Norte no pueden venir considerables masas líquidas en todo el espacio ocupado por el inmenso continente asiático, las aguas del hemisferio Sur avanzan desde Australia al Ecuador; y, no encontrando nada que las estorbe, pasan del Ecuador, en virtud de la velocidad adquirida, y siguen hácia el Norte en el Atlántico, con la vária direccion y vária velocidad que acabamos de estudiar más al por menor.

Estudiando el mapa que antecede, se ve que, aun cuando la marea parezca

adelantarse á la culminacion de la luna ó coincidir con ella, jamás hay en realidad más que una ilusion de coincidencia ó adelanto; toda vez que la marea procedente del hemisferio austral llega á nuestras costas con muchas horas de retraso. La coincidencia significa que la marea ocurre despues de un giro completo de la luna, ó de giro y medio, ó de dos giros, etc., etc.

Si en España los establecimientos de puerto son de 1 á 3 horas despues del tránsito de la luna, es porque la marea tarda 36 á 38 horas en llegar desde Australia á nuestro litoral, y, si en las Islas Británicas varian mucho, es porque la marea austral tarda en tocar la costa S. O. de Irlanda 44 horas, 48 la costa O., y no toca en Londres hasta las 60 horas, etc., etc.

Por último, la hipótesis Russelliana tiene el mérito de hacer intervenir en el fenómeno de las mareas, fuerzas tan importantes como la gravedad y la rotacion terrestre. La atraccion de la luna, cuando está sobre nuestras cabezas, disminuye muy levemente el peso de los cuerpos. Instrumentos de suma sensibilidad únicamente, como el tasímetro de Edison ó el péndulo horizontal de Zollner, podrán hacer apreciable esa disminucion (que, segun Babinet, solo afecta al peso de dos hombres robustos en el peso de un grano de trigo).

Pero imaginemos elevada esa simiente, y concibámosla cayendo en el vacío desde la altura de 2.000 metros hasta la mitad de la profundidad de algunos mares; y los efectos de esa caida ya no nos sorprenderán, si los concebimos transformados en la enorme celeridad de la marea.

## XXVII.

Como se ve, estos conocimientos generales de la marcha, direccion y velocidad de la marea que nace al Sur de Australia, aunque muy apreciables, y confirmatorios de la hipótesis Russelliana, ó, por lo ménos, no invalidantes de ella en modo alguno, están muy lejos de ser todavía lo que requiere de la investigacion científica el establecimiento de una teoría general, segun número y medida: son cualitativos, no cuantitativos.

La actual ciencia reclama para hacer depender científicamente de la influencia del fondo la velocidad de la marea, nada ménos que sondar y triangular geodésicamente todos los Océanos; y bien se comprende que ningun observador, reducido á sus solos recursos individuales, haya podido allegar hasta el dia tan múltiples elementos.

Solamente á numerosas estaciones permanentes de observacion, tocaria reunir los extensos materiales necesarios para demostrar experimentalmente que las propiedades de la onda de translacion, modificando los datos astronómicos, son ó no son bastantes á explicar las rebeldes anomalías de las mareas.

¡Problema en todo caso digno de preferente solicitud!

Pero, sin que al desasosiego de la investigacion hayamos podido aún sus-

tituir el descanso que da la posesion de una verdad conocida y comprobada, lícito nos es ya conjeturar, con bastantes caractéres de justificada induccion científica, si los hechos observados y ya permanentemente adquiridos á la ciencia, son casos particulares de una gran ley general.

Las atracciones de la luna y del sol deben dar, y dan, por resultado en la direccion de los astros una doble elevacion de las aguas en los grandes Océanos, la cual, á no haber continentes, constituiria el elipsoide líquido de Bernouilli. Pero, como los continentes existen, estas grandes masas de tierra, interponiéndose, é interfiriendo los efectos de la atraccion, impedirán durante la rotacion diurna el descenso natural que las aguas deberian efectuar, segun la complicada resultante de esas mismas atracciones y de la fuerza de gravedad propia de nuestro planeta.

Tendremos, pues, sin cesar aguas en alto, sacadas violentamente por la rotacion de la tierra fuera de la línea de la atraccion astronómica; y estas masas líquidas, fuera ya de su centro de gravedad por efecto ineludible de tales interferencias, bajarán en cuanto les sea posible, á colocarse en la profundidad del próximo Océano, segun la ley de Scott Russell y en conformidad con la experimentacion;

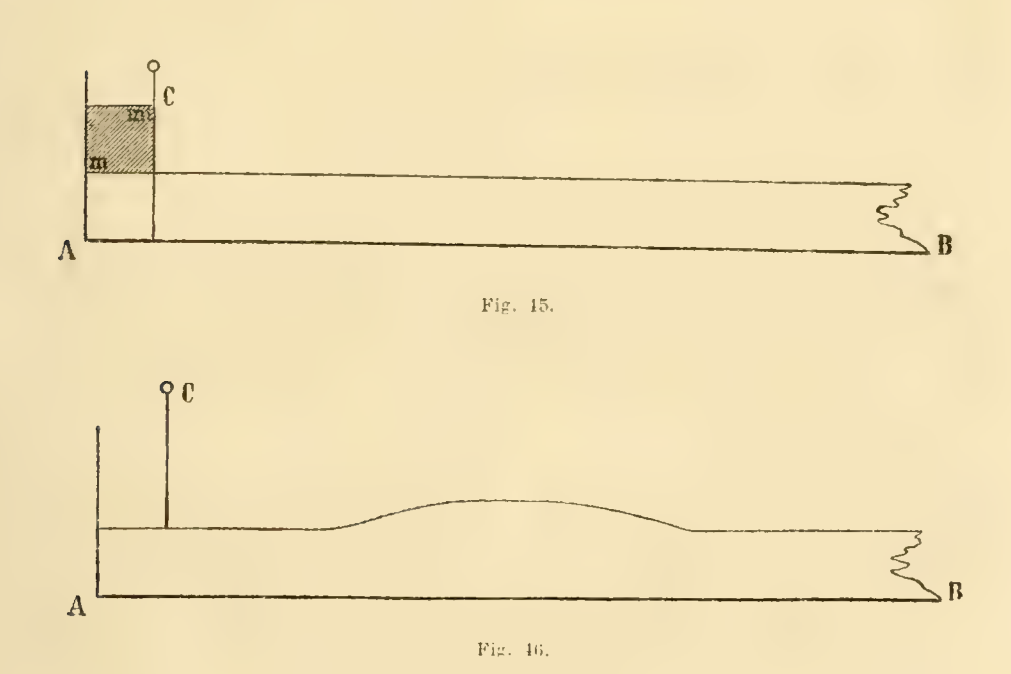


Fig. 15.

Fig. 16.

y, una vez verificado el descenso, se producirá la onda solitaria con arreglo á la energía propia de la caida de un grave, y se propagará con la velocidad de la fórmula Russelliana. Y, sucediendo esto mismo en todos los Océanos, la marea será una compleja resultante de tantas atracciones astronómicas, dislocadas por

las anfractuosas formas de las costas y los fondos sinuosos de los mares ¡efecto final de otros efectos multiformes, capaz de aturdir la imaginacion! (1)

Y, como si esto no fuera ya casi inaccesible, hay que agregar aún á los fenómenos exclusivamente propios de las mareas, los movimientos de las aguas oceánicas en masa desde el Sur hácia el Norte, por efecto del exceso de la evaporacion sobre la precipitacion en el hemisferio continental, ó, lo que es lo mismo, el exceso de lluvias en el hemisferio marino sobre la evaporacion: si hay un constante movimiento de montañas de hielo—á veces de millares de piés desde el Norte al Sur—¿de dónde viene el agua que rellena el vacío? (2)

Pues hay mas: falta todavía que llevar en cuenta la influencia de la alta presion barométrica al Norte y al Sur del Ecuador, comparada con la baja presion de las zonas ecuatoriales; y, como si esto fuese poco (3) aún, hay que computar los efectos del calor que producen las enormes corrientes de golfo en el Atlántico y el Pacífico (4).

En verdad, cualquier estudio sério es infinito, segun ha dicho Goethe.

---

(1) Léanse con la atencion que merecen las siguientes palabras de una profunda síntesis:

«No es posible concebir una masa fluida separada de su posicion de equilibrio que no transmita undulaciones al través de ella. Las atracciones del sol y de la luna determinan elevaciones aisladas en cada uno de los mares, que, á su vez, desarrollan ondas parciales, influyéndose mútuamente con más ó ménos energía, segun las circunstancias; siendo en definitiva la marea una resultante de todas estas ondas parciales que dan orígen á combinaciones muy variadas, y que difieren en cada punto.»—(Perez de La Sala, *Constr. en el mar.*)

(2) Wyville Thomsom, jefe de la comision científica del Challenger, dice:

«I am every day more fully satisfied that this influx of cold water into the Pacific and Atlantic Oceans from the southward, is to be referred to the simplest and most obvious of all causes, the excess of evaporation over precipitation of the land hemisphere, and the excess of precipitation over evaporation in the middle and Southern parts of the water hemisphere.»

Y Evans dice:

«Icebergs have been fallen in with in the entire circumference of the Southern seas, and they are pushed in the South Atlantic Ocean as far as the 40th parallel of latitude, in the South Indian to the 45th parallel, and in the South Pacific to the 50th parallel.» (46 *meeting* of the Brit. Ass.)

Esto acusa un movimiento de los mares australes hácia el Norte.

(3) James Ross, when at Port Leopold in the Arctic seas, found that a difference of pressure of 0.668 of an inch in the barometer produced a difference of 9 inches in the mean level of the sea.

The Ocean is a water barometer on a vast scale of magnificence.

When we consider the exceptionally low barometric pressure prevailing in the Southern seas, and the comparatively low pressure of the equatorial ocean-zones as compared with the areas of high pressure in the Oceans North and South of the equator, these characteristic conditions of atmosferic pressures cannot exist without presumably affecting the surface conditions of adjacent waters.—(Evans, 46 *meeting* of th B. A. 176.)

(4) The unbroken range of Ocean in the Southern hemisphere, is much shallower than in northern seas; it has no features approaching in character those grand abyssal depths of 27.000 and 23.500 feet found respectively in the North Pacific and North Atlantic Oceans, as the greatest reliable depths recorded do not exceed 17.000 or 17.500 feet......

Both abyssal areas in the N. Pacific and in the N. Atlantic have this in common: the maximum depths are near the land: the sea

## XXVIII.

Llegados á este punto, podemos sintetizar nuestras inducciones del modo siguiente:

El sol y la luna hacen de las aguas un elipsoide (1);

La rotacion de la tierra obliga á pasar las costas por la línea astronómica que produce cada protuberancia elipsoidal, constituida á cada momento por distintas moléculas de agua marina (2);

La diversa profundidad de los mares da cuenta de las diferencias de velocidad en la marcha de la gran onda astronómica, que podemos mirar como una inmensa loma de ondas solitarias (3);

La forma de los fondos, con sus choques y sus múltiples reflexiones, ilustra en cuanto á los cambios de la direccion de las aguas;

Y los vientos y cambios atmosféricos explican las turbulencias de las olas, ó undulaciones de oscilacion; las cuales, experimentando cerca de las playas la influencia de la disminucion de la profundidad, se convierten en pequeñas ondas solitarias, al romperse en las rocas ó en la arena.

## XXIX.

Tenemos, pues, ya en cierto modo ciencia cualitativa; pero ¿podemos lisonjearnos de poseer, en cuanto á las mareas, verdadera ciencia cuantitativa?

Con pesar tiene el físico que responder negativamente, toda vez que, hoy por hoy, es de más importancia el mareógrafo para la determinacion de los aguajes en cualquier litoral, que las más laboriosas fórmulas del análisis matemático.

---

surface temperature has the maximum degree of heat in either Ocean and two of the most remarkable Ocean Streams (Florida, Gulf and Japan) partially encompass them. (Evans, 46 *meeting*, 172.)

(1) La enorme mole de la protuberancia camina con relativa lentitud, y se deforma y reforma en razon de las velocidades, mensual de la luna y anual del sol, con arreglo á sus respectivas posiciones y distancias apogeas y perigeas.

(2) Para un observador distante, la forma del elipsoide permanece constante (modificada solo por las posiciones del sol y de la luna, que podemos despreciar tratándose de observaciones inmediatas); pero las moléculas del agua marina, que constituyen esa forma elipsoidal, arrastradas por el giro diurno de la tierra, no son las mismas de un momento á otro. Aquí la forma subsiste, pero la materia viaja.

(3) Generadas las protuberancias por las atracciones del sol y de la luna, estos astros, si se asimilan las mareas á lomas de traslacion, no tienen luego influencia sobre la subsiguiente propagacion del movimiento, puesto que la velocidad es independiente del impulso generador (que en este caso puede considerarse igual á la altura de la protuberancia elipsoidal).

Pero, una vez dirigidos los procedimientos de la observacion por los estudios anteriores, y obtenidos, en su virtud, suficientes datos experimentales, el ingeniero puede ya con seguridad científica utilizar permanentemente la FUERZA DE LOS MARES, cierto de no haber de encontrar fenómenos inesperados, ni de tener que luchar con casos nuevos ni de excepcion. Hasta cierto punto puede modificar la velocidad y direccion de la marea.

## XXX.

Los analistas, sin embargo, continuan atendiendo mas á las fórmulas que á los datos de la observacion. Para mares encantados parece que trabajan. Verdad es que desde Young estan introduciendo en sus expresiones un elemento no astronómico: la friccion. Verdad tambien que los admirables y novísimos análisis de Ferrel coinciden mejor que los de Laplace y de Airy con las realidades de la naturaleza; pero todavía el mareógrafo sirve mas (esta es mi opinion) que las mas laboriosas integrales atestadas de constantes no conocidas aún. *Adhuc sub judice lis est.* (Véase el *Apéndice.*)

Las teorías no son más que presunciones. Cuando los hechos les dan la razon, entonces dejan de ser teorías, y pasan á perpetuidad á ser leyes inflexibles. Cuando los hechos no caben en las teorías, entonces mueren éstas en los panteones del olvido. Por eso el espíritu científico moderno dice al aventurar una explicacion primera de numerosas anormalidades: «No tomeis esto por verdad inconcusa y establecida; pero, mientras no hallemos otra cosa mejor, séanos lícito opinar que esto, ó no repugna, ó pudiera ser verdad. Establezcamos hechos, y cada cual tenga libertad para hacer sus inferencias, sin estar obligado á aceptar las de los demas.»

Hecho es, que las atracciones del sol y de la luna no bastan á explicar la propagacion de la marea; hecho es, que la velocidad de la onda fluxial es inmensa en mucho fondo, y menor en los parajes de poca profundidad: las coincidencias con la hipótesis de RUSSELL son muchas..... Los casos á que esa hipótesis no alcanza y que las fórmulas tratan de abarcar son innumerables..... Si no hay motivo aún para una gran síntesis, reconozcámoslo así, y esperemos.

La mercancía que nada cuesta es la esperanza.

## XXXI.

Ahora bien: dado que existe esta FUERZA PODEROSA Á ORILLAS DE TODOS LOS OCÉANOS, ¿en qué consiste? ¿cuál es su esencia íntima? ¿Es referible á las potencias ya conocidas, como el calor y la gravedad? ¿O será acaso una energía *sui generis*?

# CAPITULO III.

## CUESTION DINÁMICA.

### I.

Mayer (1) y Tyndall (2) han sido quizá de los primeros á sostener, con verdadero fundamento científico, que la potencia de los mecanismos movidos por la marea se deriva de la rotacion terrestre.

Supongamos un molino puesto en movimiento por la accion de la marea, y que el roce de las piedras se utilice en desarrollar calor. Supongamos tambien otro molino idéntico, cuyas piedras, empleadas asimismo en producir calor, estén movidas por un salto de agua procedente de la cumbre de un monte.

¿Es igual el orígen del calor producido tanto en un caso como en otro?

No, ciertamente. El calor del primer molino—el de la marea—se obtiene á expensas de la rotacion de la tierra; mientras que el del segundo—el del salto de agua—procede del calor solar, que, en forma de vapores, eleva las aguas de los Océanos hasta la cima de la más altas montañas (3).

Quizá algun dia una portentosa síntesis nos haga saber que TODAS LAS FUERZAS hoy estudiadas no son más que MODOS DIFERENTES de una sola y misma ENERGÍA UNIVERSAL; pero, aun entonces, habremos de convenir en que el calor del un molino corresponde á una manifestacion de la Energía, distinta de la manifestacion correspondiente al calor del otro.

### II.

Ahora bien: si la energía de la rotacion terrestre se emplea en producir movimientos industriales utilizando las mareas, no podrá ménos de suceder que la rotacion terrestre disminuya (4). No se produce un movimiento sino á costa de la energía residente en otro. En la industria no hay más que transformacion.

Si, continuando sin variacion y tal como está ahora todo el régimen telú-

(1) Dynamik des Himmels.

(2) Heat as a mode of motion.

(3) Id. id.

(4) Esta doctrina se halla sostenida en un interesante artículo del *Engineering*, número 618; pero en él se supone fija á la marea en la línea de los astros causadores del elipsoide, y se prescinde—á mi entender sin razon—de su propagacion como onda fluxial.

rico, un vasto recipiente—caleta, bahía ó ensenada—se llena y se vacía sucesivamente en las mareas, armónicamente con la rotacion de nuestro globo, óbvio es que, dada esta hipótesis, no habrá absorcion de energía capaz de retardar el movimiento diurno de nuestro globo. Pero tampoco la industria habrá utilizado trabajo ninguno procedente de semejante receptáculo.

Mas vamos á otro caso distinto. Durante el tránsito del recipiente á través de la intumescencia de la marea, hemos aprisionado en él una gran masa de agua; con lo cual obligamos á la rotacion terrestre á que saque esa masa líquida fuera de la posicion que, en otro caso, ocuparia respecto de la luna, ó, mejor dicho, respecto de los dos luminares causa de la onda fluxial, á los cuales podemos suponer en conjuncion para mayor sencillez.

Pero semejante porcion líquida no puede apartarse de la posicion que naturalmente ocuparia respecto de esos astros, sin contrariar los efectos de su atraccion. Esta atraccion luni-solar tenderá á retener el agua de la ensenada en la region de la intumescencia del elipsoide marino; y, si la tierra, sin embargo, saca con su poderosa rotacion, tanto al recipiente como al agua en él aprisionada, fuera de esa region de la intumescencia fluxial, no podrá haberlo hecho sin consumir alguna parte (por mínima que sea) de su inmensa fuerza de rotacion; y, por tanto, sin haber retardado alguna cosa su movimiento diurno, al caminar con el agua represada en direccion negativa á la de la atraccion. Pero, continuando cautiva el agua durante más de media rotacion diurna, en el hipotético recipiente, de modo que pueda irse de nuevo acercando (por causa de la rotacion de la tierra) hasta la misma region de donde fué arrebatada, entonces, INVERSAMENTE, al venir aproximándose la masa ácuea á la línea de accion de los astros, la atraccion de ambos luminares llamará hácia sí el líquido confinado en el recipiente: y éste, por causa de semejante traccion, ejercida á la par por el sol y por la luna sobre la mole prisionera, acelerará la rotacion de nuestro globo en una cantidad precisamente igual á la de la anterior retardacion. Por tanto, ningun cambio podrá experimentar el giro diurno de nuestro globo, si al período negativo sigue inmediatamente otro positivo.

Verdad es que tampoco se habrá obtenido trabajo alguno industrial procedente del agua contenida en el hipotético receptáculo.

Ahora bien: determinémonos á utilizar industrialmente la marea.

Al efecto aprisionemos agua en la ensenada, al pasar por debajo de la gran intumescencia fluxial: resistamos, á expensas de nuestra pujante rotacion planetaria, las atracciones del sol y de la luna; y, cuando la tierra, al cabo de 6 horas de movimiento, haya llegado al meridiano donde todo es bajamar, hagamos mover con el agua de nuestro recipiente cualquiera clase de mecanismos: produciremos trabajo; y la potencia así obtenida y utilizada será precisamente el equivalente exacto de la energía robada á la rotacion con la cual nuestra tierra resistió á las atracciones que el sol y la luna ejercieron sin resultado sobre la mole aprisionada.

Porque no hay que confundir al motor inmediato con su orígen: la fuerza que á las 6 horas haya movido la maquinaria, indudablemente será la gravedad del líquido marino. Pero la gravedad en este caso (como en todos) es un motor secundario. El hombre que con sus músculos levanta el peso que sostiene la marcha de un reloj, es el motor primario del peso: que el cuerpo no es motor por sí, sino por la elevada posicion en que los músculos lo han colocado. El calor solar que, evaporando las aguas, las hace subir en nubes á lo alto de la atmósfera para fijarla en nieves y lluvia, es el orígen de la abundante fuente de trabajo mecánico que se obtiene de los rios. Y la rotacion de la tierra que lleve á donde hubiere bajamar el líquido de la marea tomado de lo alto del elipsoide, ó sea del vértice de la intumescencia fluxial, es incuestionablemente el motor primario de la energía almacenada en el agua del mar, y en aquel sitio aprovechada, como energía de la gravedad. Por tanto, todo efecto industrial obtenido de las mareas será un equivalente de la pérdida de rotacion diurna. Saturno devoraba á sus hijos; pero los mecanismos de la civilizacion, hijos de la rotacion terrestre, devorarán á su madre. Utilizar la marea será retardar el movimiento diurno de nuestro globo.

## III.

Desgraciadamente la estadística ve próxima la desaparicion del tesoro de carbon existente como fuerza disponible en las entrañas de nuestro globo. Desgraciadamente tambien es óbvio á la induccion científica que, si no hay efectos de compensacion, la continuacion, durante miriadas de siglos, del aprovechamiento de la marea, acerca inevitablemente á la inmovilidad la rotacion diurna. No habrá dias y noches como los de ahora.

Pero la conversion del diamante negro en ácido carbónico es inminente, al paso que vamos; mientras que la energía almacenada en nuestro rotante globo es tan colosal, que bien podemos considerarla por ahora como inextinguible!! ¿Qué puede consumir de esa inmensa fuerza de rotacion toda la industria de la humanidad durante ciclos astronómicos que aturden la fantasía? Nada. Esa potencia puede durar tanto como las causas cósmicas que nos mantienen en nuestro actual estado, y hasta pudiera dar lugar á que se rehiciera el carbon que ahora consumimos.

## IV.

Pero, de todos modos, la industria humana se uniria para parar la rotacion de nuestro globo á una poderosa causa natural de retardacion. La marea se compara constantemente á un freno poderoso, aun por aquellos que no se cuidan de la hipótesis Russelliana; pero, si la gran onda astronómica tiene las

propiedades de la onda solitaria, y todo el mar posee un movimiento real de translacion, entonces, efectivamente, habrá de considerársela como un freno constituido de dos mitades de agua, dentro de las cuales gira la tierra, siendo el amordazamiento efecto de la gravedad. Y, como ningun freno funciona sin desgastar, raer ó desintegrar la superficie á que amordaza, de aquí que el erosivo poder de las aguas ecuatoriales haya de ser colosal, como efectivamente se le supone desde antiguo (1).

Sábese que los movimientos de la luna están sujetos á una ligera aceleracion, apenas perceptible en el transcurso de un siglo: Halley descubrió esta aceleracion secular, igual á 11″ en longitud, computando varios eclipses observados por los antiguos astrónomos caldeos: Laplace explicó dinámicamente este fenómeno: Adams, en 1853, descubrió que era necesario aplicar una correccion á los cálculos de Laplace, pero que, aplicada, solo se daba cuenta de $1/2$ de dicha aceleracion; y Delaunay, en 1866, sugirió la idea de que el fenómeno quedaria completamente explicado suponiendo un retardo en la rotacion terrestre por causa del rozamiento de la gran onda fluxial de la marea.

El 19 de marzo (721 antes de Jesucristo) fué visible en Babilonia un eclipse de luna, que comenzó una hora despues de su salida, dato que no puede conciliarse con las modernas teorías sino suponiendo que la tierra ha perdido más de $\frac{1}{3000000}$ de su velocidad rotatoria; ó, en otros términos, que, considerada como un cronómetro, anda ahora más despacio que entonces; de modo que, al cabo de un siglo, resultaria atrasada 22 segundos respecto de un reloj que fuese la misma perfeccion (2).

La tierra es, pues, un mal cronómetro, y hubo un tiempo en que su velocidad de rotacion era mayor que en la actualidad.

---

(1) J. Croll dice: «El nivel del mar debe estar deprimiéndose lentamente en el ecuador y elevándose en los polos, á consecuencia de la pérdida de fuerza centrífuga resultante de la retardacion que produce la marea en la rotacion terrestre.»

«It follows as a consequence from the loss of centrifugal force resulting from the retardation of the Earth's rotation occasioned by the friction of the tidal wave, that the sea level must be slowly sinking at the equator and rising at the poles.»—(*Brit. Assoc.*, 46 *meeting.*)

(2) Newcomb no cree que la tierra puede mirarse como un cronómetro, porque la nutacion de la luna, la precesion de los equinoccios, la influencia retardatriz de las mareas y de los monzones, y el cambio del centro de gravedad por la erosion de las montañas, los acarreos de los rios, las corrientes marinas, la fusion de los hielos polares, y la desigual contraccion de la corteza terrestre, son causas permanentes de irregularidad.

«It is well known that owing to the «tidal retardation» the rate of the Earth's rotation is slowly diminishing, and it is therefore evident that, if we go back for many millions of years, we reach a period when the Earth must have been rotating much faster than now.»—(J. Croll, 46 *meeting Brit. Ass.*, p. 88.)

«Since the 19 march 721 B. C., a day on which an eclipse of the moon was seen in Babylon, «commencing when one hour after her rising was fully passed» the Earth has lost more than $\frac{1}{3000000}$ of her rotational velocity.»—(Thompson, 46 *meeting B. Ass.*, p. 12.)

## V.

Pero ¿quién será capaz de presuponer lo que nos tiene reservado el porvenir? ¿Por qué se ha de retardar tanto la rotacion? ¿Por qué no hemos de vislumbrar íntegras ó parciales compensaciones? (1)

Nuestra época, de cierto, es tan grande en elaborar realidades como en soñar portentos de la fantasía.

Verdaderamente las leyes actuales han sido un tiempo atrevidas presunciones; y, si los límites de lo posible se han ensanchado hasta perderse de vista, demos gracias á los que antes soñaron en traspasar las fronteras de la supuesta imposibilidad. ¿No se negó la existencia de los aerolitos? Hoy se explica por su impacto el calor solar. ¿No se declararon «imposibles» los dibujos de la luz? ¡Pues, en contra de esa imposibilidad de demasiado lógicos académicos, apareció la fotografía! ¿No era necesario el dolor? ¡Pues ahí está el cloroformo! ¿No eran invencibles las tiranías del espacio? Pues han desaparecido ante el vapor y la electricidad. ¿Pudo álguien pensar en la fijacion del sonido? ¡El fonógrafo acaba de nacer!!..... ¿Quién soñó nunca en descubrir los soles apagados? El tasímetro acaso descubra esos astros sin luz, que los ojos no podian alcanzar.

Todas estas realidades fueron antes fantasías: y ¿hemos de condenar las fantasías solo por no hallarse anexionadas aún á los dominios de la ciencia, ni relegadas á los abismos del error? Si la verdad se encuentra por su medio, feliz la hora en que se imaginaron; si no se encuentra, el trabajo no resultará perdido, antes bien será ámpliamente recompensado con nuevos descubrimientos, ni aun sospechados siquiera: así Colon, creyendo llegar á las orillas orientales del Asia, descubrió un nuevo continente; así Volta, pensando que el simple contacto de metales heterogéneos producia electricidad, descubrió la pila de su nombre, instrumento de análisis y síntesis el más potente que posee la Humanidad.

---

(1) Hay de cierto causas de compensacion. Calcúlase que las influencias atmosféricas, y sobre todo las lluvias, desnudan las montañas de nuestro globo á razon de 1 pié cada 6.000 años. Por de contado que en las regiones ecuatoriales la erosion es mucho mayor, por ser allí las lluvias más intensas y frecuentes: la cuenca del Ganges desciende á razon de 1 pié por 2.300 años. Así, las erosiones pluviales rebajan el ecuador tan rápidamente como el nivel del mar desciende por disminucion de la rotacion, efecto del decrecimiento de la fuerza centrífuga. Pero las corrientes transfieren los materiales del ecuador á más altas latitudes, lo cual tiende á acelerar la rotacion.

«The lowering of the equator by the transference of the materials from the equator to higher latitudes must tend to encrease the rate of rotation, or, more properly, it must tend to lessen the rate of tidal retardation.»—(J. Croll, 46 *meeting of the British Association.*)

## VI.

Pero ¿no podrá suceder que la tierra no retarde su velocidad rotatoria sino que realmente la luna acelere su velocidad orbital? ¿No podrán acaso ocurrir ambas cosas á la vez? Presentemos la cuestion en su límite.

¿Saldrá alguna vez nuestra luna por Poniente? (1)

Cuando se observó la primera vez que acortaban los períodos del cometa de Encke, fué atribuida la causa á resistencias contrarias al movimiento cometario por parte del éter: y entonces apareció, como una paradoja astronómica, la doctrina de que semejantes resistencias pudieran traducirse en aceleracion del movimiento que empuja en sus órbitas á los cuerpos celestes.

Pero bien pronto la explanacion se encontró sujeta á dos sérias objeciones:

La aceleracion del cometa Encke no era uniforme ni siempre ostensible;

No habia ningun otro motivo más que ella para sospechar resistencia á los movimientos orbitarios por parte del éter.

Pero ¿á qué podia atribuirse la aceleracion, cuando real y efectivamente se observaba? En el fondo del enigma yacía de cierto alguna causa de anormalidad.

Y no bien se han descubierto las Lunas de Marte (2), y se ha sabido que

---

(1) Véase *Scientific American*, núm. 12, volúmen XXXVIII.

(2) El descubrimiento de los satélites de Marte, y la confirmacion inmediata, se debe á los astrónomos de los Estados-Unidos de la América del Norte, sin duda porque allí se encuentran los mejores anteojos de moderna construccion.

ASAPH HALL, del Observatorio de Washington, descubrió el exterior en 11 de agosto de 1877, y el 17 vió á los dos. El 18 su descubrimiento fué confirmado por varios astrónomos en el mismo Washington; por ALVAN CLARKE en Cambridgeport, Massachussets; y por PICKERING, en Cambridge, Massachussets.

Solamente los astrónomos americanos han visto las dos lunas.

La exterior se ha distinguido en París por PAUL y HENRY PROSPER; en Greenwich y en Parsonstown. Probablemente no mide 16 kilómetros el diámetro de cada una de estas lunas, que, hasta ahora son los cuerpos más pequeños accesibles á los mejores instrumentos. El satélite exterior está á 19.300 kilómetros de Marte, y el interior á 5.630. El exterior completa un giro en 30 $^1/_4$ horas, y el interior en ménos de 8; de modo que sale y se pone 2 veces en una noche. Las observaciones del satélite exterior han hecho corregir el cómputo de la masa de Marte, disminuyéndola de modo que ahora esta masa se estima $= \frac{1}{3000000}$ de la del sol.

Un pasaje de la *Iliada* hizo que MADAN, de Eton College, Inglaterra, propusiera para estos satélites los nombres de Δειμός y Φόβος (Temor y Espanto), nombres de los caballos de Marte (ó de hijos ó servidores del dios, segun otros). El exterior, pues, se llama Dimo y Fobo el interior.—(*Sc. American Sup.*, página 1.755; y *Nineteenh Century*. Tambien *Observations and Orbits of the Satellites of Mars*. Washington. Segun este folleto, Dimo da una vuelta á Marte en 1,262429. dia medio solar, y Fobo en 0,3189244. Las 2 lunas se mueven casi en el plano del ecuador marcial.)

Segun ARCIMIS, *Telescopio moderno*, Fobo gira alrededor de Marte en $7^h$, $39^m$, $30^s$ de tiempo marcial. La duracion media del dia solar de Marte es $24^h$, $39^m$, $35^s$.

El satélite exterior de Marte, Dimo, ha sido observado por A. A. COMMON, de Ealing, la mañana del 22 de setiembre 1879, con un nuevo reflector de vidrio cubierto de plata,

Fobo la luna interior, tiene un movimiento tan rápido y excepcional que da 3 vueltas alrededor de su planeta por cada rotacion diurna de éste, el anterior enigma hubo de tomar las más sérias proporciones, porque semejante velocidad comprometeria gravemente la hipótesis nebular de LAPLACE, si causas suficientemente poderosas no hicieran conjeturar que puede haberse acortado el rádio orbital de esta luna interior, acelerándose así su movimiento de traslacion alrededor de su planeta.

Y DOOLITTLE acaba de sugerir una explicacion admisible, y aplicable tambien al cometa de Encke.

Dejando á un lado la hipótesis de la resistencia por parte del éter, vehículo de la luz, DOOLITTLE acude á esa bien conocida forma de materia existente por los espacios interplanetarios, en cantidad probablemente bastante á producir las aceleraciones observadas; á saber: la materia y la masa de las estrellas fugaces, bólidos y uranolitos.

Cada año encuentra la tierra en su marcha orbital 400.000.000 de aerolitos, como un mínimo nada exagerado (1). Cálculos fundados sobre su aparente magnitud les dan un diámetro de 24 á 36 metros; y, suponiéndoles—lo

---

de 26 pulgadas inglesas. El ángulo de su posicion difiere + 1°,8 del deducido segun los elementos del Profesor ASAPH HALL. *Nature.*

(1) HERRICK, astrónomo americano, estima que el número total de estrellas fugaces, visibles en toda la atmósfera en un dia, es, sin duda, superior á 2.000.000. Pero, como valiéndose de un pequeño anteojo, pudo distinguir 250 veces más uranolitos que los perceptibles á la simple vista, resulta que hay que contar por millones los meteoros que cada hora entran en nuestra atmósfera, y por miles de millones los correspondientes al curso de un año.—(ARCIMIS, *Telescopio moderno.*)

PROCTOR no va tan lejos; pero en una conferencia aseguró en Lóndres á principios de 1877, que la tierra, mientras forme parte de nuestro sistema cósmico, *no cesará en acrecer su magnitud* por los centenares de miles de cuerpos extra-terrestres que anualmente se incorpora, y que en un año no bajarán de 400.000.000, desde el peso de un gramo al de una tonelada, sin contar los de mayor tamaño, como uno de 15 toneladas caido en la América del Sur.

JOHN HAMMES, de Oskaloosa, Iowa, vió la noche del 12 de noviembre de 1878, en la region de la luna denominada Baco, Barocio y Nicolai, una como erupcion gaseosa de un volcan, la cual duró cosa de media hora; fenómeno que SAMUEL GARY explica manifestando, que si un uranolito de los grandes que han caido en la tierra, atraido por la luna, se precipita sobre ella con toda su tremenda velocidad cósmica, no retardada allí por una atmósfera densa como la que rodea á la tierra, el solo calor del golpe convertirá en vapor al meteoro; vapor que para un astrónomo terrestre, testigo casual del hecho, presentará todas las apariencias de una erupcion volcánica; y esto, naturalmente, y sin necesidad de acudir á la hipótesis de que aún viven grandes energías en el seno de nuestro satélite—considerado como muerto por los más de nuestros astrónomos, á pesar de los esfuerzos de otros en propagar lo contrario.

La verdad es que algunos fenómenos parecen demostrar la existencia de fuerzas interiores en la luna. ¿Cómo, si no, explicar, por ejemplo, el hecho siguiente? El 27 de mayo de 1877 HERMANN J. KLEIN observó una modificacion en la luna (en el lugar de su centro, conocido por el *Mare Vaporum*, punto perfectamente explorado y conocido, como apenas sensible á las libraciones del astro). La observacion ha sido confirmada por otros muchos astrónomos de nota, especialmente por el veterano selenógrafo SCHMIDT. La primera explicacion del fenómeno sugirió la idea de un volcan nuevamente abierto por las fuerzas interiores del satélite, no muertas todavía.

que seria evidentemente mucho suponer—una densidad igual á la del hidrógeno (sustancia la más ligera que conocemos), la tierra, durante los últimos 100 millones de años, se habria asimilado una masa de orígen cósmico igual á $\frac{1}{72431}$ de su mole. La enorme cantidad de materia cósmica que este no exagerado cálculo supone, implicaria resistencia bastante á cambiar la órbita terrestre desde un óvalo exagerado á su curva elíptica actual. Y, en efecto, de observaciones á distantes períodos se ha inferido que la excentricidad de la tierra se halla sujeta á una lenta pero constante disminucion (1).

## VII.

Esta materia uranolítica parece de una copiosísima abundancia; porque no solamente acude al llamamiento de la tierra desde 600 á 700 puntos diferentes del espacio, sino que, además de los de órbitas cerradas ó elípticas, existen meteoros cuyas trayectorias son parabólicas é hiperbólicas, lo que supondria constantes inmigraciones de uranolitos procedentes de remotas regiones, situadas en las profundidades sidéreas (2); uranolitos que, por el sentido inmediato del tacto, nos hacen conocer la distante materia de los espacios celestes, con la que, como dice HUMBOLDT, solo estamos en comunicacion por la óptica, el cálculo y el raciocinio, y la misteriosa fuerza de la gravitacion universal.

La historia recuerda muchos anormales oscurecimientos del sol, algunas veces tan considerables que las estrellas eran visibles en medio del dia durante períodos de semanas, meses, y aun años. ERMAN, HUMBOLDT y SCHNURRER mencionan los más notables, y el primero explica el fenómeno por la interposicion de nubes cósmicas de apiñados uranolitos entre nosotros y el sol (3).

---

(1) La disminucion de la máxima ecuacion del centro se estima por siglo en 17",6.

Cantidad considerable de materia cósmica indica tambien la existencia de la luz zodiacal, que durante centenares de años se verá en el cielo occidental por marzo y abril, y en el cielo oriental por setiembre y octubre; explicada por CASINI I como el reflejo de la luz solar desde innumerables cuerpos dimiuutos que giran alrededor del sol; por HERSCHELL como las más densas partes del medio resistente que retarda la marcha de los cometas, cargado acaso con resíduos robados á las colas de millones de estos cuerpos al pasar por su perihelio; por EULER como un anillo alrededor del sol, semejante al que rodea á Saturno; y por JONES como un anillo nebuloso cuyo centro es la tierra, y se halla circunscrito dentro de la órbita lunar. La mayor parte de los astrónomos modernos considera la luz zodiacal como una continuacion de la atmósfera del sol.

(2) Las grandes lluvias aisladas, cuyo regreso se desconoce, y que quizás no vuelvan á repetirse, se explican por el paso de una nube cósmica introducida recientemente en nuestro sistema, y que procede de los abismos del infinito.—(ARCIMIS, *Telescopio moderno.*)

De la discusion de las curvas de 247 cometas, deduce el astrónomo americano H. A. NEWTON, que el orígen de estos cuerpos debe colocarse en los espacios interstelares, confirmando así la hipótesis de LAPLACE, contra la del filósofo KANT, que suponia á los cometas formados de la materia de la nébula solar.—(*American Journal of Sc. and Arts.*)

(3) PLUTARCO y DION CASSIO dicen que el sol estuvo más pálido que de costumbre du-

Entre los muchos elementos que constituyen los aerolitos, no se ha encontrado ninguno que no se halle en la tierra. De modo que, en términos generales, podemos llegar á la grandiosa conclusion de que la inmensidad está poblada de los mismos materiales que constituyen el muy humilde globo que habitamos: — razon de más para creer que los más recónditos movimientos de los mundos invisibles se ajustan á las leyes conocidas de los movimientos visibles.

Examinadas al microscopio las materias pulverulentas del aire procedentes de los sedimentos de la nieve de los Alpes, han descubierto Tissandier y Meunier, entre los objetos atraidos por el iman, numerosas esférulas, notables por la regularidad de su forma, enteramente iguales á las esférulas que se obtienen cuando quemamos hierro metálico en el aire; de donde han deducido que, cuando entra en nuestra atmósfera el hierro meteorítico, se producen multitudes de estos minutísimos corpúsculos. La costra de los meteoritos contiene granos redondos iguales á esas esférulas sedimentarias. Estas, además, contienen nickel, solemne testimonio de su orígen meteórico.

La sonda saca de los abismos del Océano, y más particularmente del Pacífico, numerosos nódulos, muy irregulares en forma, consistentes en peróxido de hierro y peróxido de manganeso, depositados en capas concéntricas alrededor de una matriz arcillosa. Si la arcilla roja del fondo de los mares se diluye en gran cantidad de agua, y en la dilucion paseamos un iman, éste sale con una porcion de esférulas de hierro metálico, y algunas veces de nickel. Semejante polvo magnético se tiene por polvo cósmico, compuesto de impalpables meteoritos.

El exámen espectral del sol demuestra que el vapor de hierro es el más abundante en la atmósfera solar, al cual siguen el nickel y el magnesio, luego el calcio, despues el aluminio, el sodio y el hidrógeno, y por último, el manganeso, el cobalto, el titanio, el cromo y el estaño. Dejando á un lado las inducciones hechas últimamente por Lockyer sobre la unidad de la materia, Cornu, habiendo observado que el hierro, el nickel y el magnesio abundan

---

rante un año, cuando la muerte de Julio César (44 antes de Jesucristo). Una oscuridad de 2 horas precedió al terremoto de Nicomedia (22 de agosto de 358). Dos años despues en todas las provincias orientales del imperio romano hubo «caligo à primo auroræ exortu usque ad meridiem.»

Cuando Alarico apareció ante Roma, la oscuridad era tal, que se veian las estrellas durante el dia. Se mencionan largos períodos de palidez del sol en 536, 567 y 626. En 931 el sol perdió su ordinaria luz durante muchos meses. En 29 de agosto de 1091 el sol estuvo oscurecido 3 horas: «Fuit eclipsis solis 11 kal. octob. fere tres horas: sol circa meridiem dire nigrescebat.» El 12 febrero de 1106 el sol se ennegreció y se vieron muchos meteoros, y el 5 de febrero anterior se vió una estrella desde la 3.ª á la 9.ª hora del dia, que distaba del sol solo pié y medio (quizá el cometa observado en China bajo el signo Piscis (?)) En 1206 hubo completa oscuridad durante 6 horas. En 1547, de abril 23 á 25, segun dice Keplero con referencia á Gemma, el sol apareció como de sangre, y las estrellas fueron visibles á medio dia.

Ninguna de estas ofuscaciones del sol pudieron ser efecto de un eclipse. (Véase J. R. Hind en *Nature*.)

tanto, insinúa (con todas las reservas propias de la verdadera induccion científica) que los aerolitos, en su mayor parte, están formados de hierro combinado con $^1/_{10}$ de nickel; que en el hierro meteórico la liga es casi pura; que en los lito-meteoros el hierro y el nickel están mezclados con silicatos de magnesio de composicion varia; y que tales hechos pudieran aducirse en apoyo de que la capa absorbente del sol está principalmente constituida por la volatilizacion de la lluvia de uranolitos atraidos por la gran masa solar.

Las esférulas de polvo magnético se han encontrado no solamente en los sedimentos de la nieve de los Alpes, sino en arenas varias y en estratos muy anteriores á la aparicion del hombre en la tierra; por manera que, conforme á datos puramente geológicos, parece que nuestro globo ha estado recibiendo materiales de orígen cósmico durante un pasado incalculable.

## VIII.

Ahora bien: Doolittle estima que la tierra—tipo de la instabilidad, por más que todos la llamemos tierra firme—(1) lejos de haber nacido con su masa actual, la ha más que doblado desde que comenzó su carrera.

Doolittle además estima que cae en la tierra mayor número de aerolitos á vanguardia que á retaguardia de la marcha orbital, y es, por tanto, presumible que el encuentro de estos cuerpos sea orígen de resistencia bastante para acortar los rádios orbitales y acelerar las velocidades de traslacion.

Pero, por otra parte, engrosada con los uranolitos la masa de los planetas y de sus lunas, debe acrecentarse su mútua fuerza de atraccion.

Y, por insignificante que pueda concebirse el efecto de la lluvia anual de las estrellas fugaces, preciso es conceder que, siendo real y perenne, como lo es esa caida, alguna disminucion asignable del rádio orbital de las lunas, y algun aumento de su velocidad de traslacion habrá de concebirse como admisible en suficiente número de siglos (2).

---

(1) Este año se cumplen 1.000 de la ruina de Pompeya y Herculano. Lo que llamamos tierra firme es realmente el tipo de la instabilidad, porque bajo los constantes esfuerzos en actividad de la contraccion, la costra terrestre se mueve constantemente, y se pliega y deforma sin cesar.

Unas partes se hunden y otras se elevan, todo irregularmente; y, cuando una se hunde, el mar deposita en ella los sedimentos que hallamos en las séries de las rocas. Sedimentos se están formando todavía por las conchas y los esqueletos de los animales que viven en el mar, y cuyos restos se van al fondo.—*(Sc. Am.*

No es imposible que la temperatura del espacio sea variable en la extension del sistema solar *(Engl. Cycl.)*, y que las condiciones del enfriamiento terrestre sean distintas al Norte que al Sur, y por tanto diversa necesariamente la contraccion de la corteza del globo en ambos hemisferios, boreal y austral.

La erosion de las regiones ecuatoriales y el transporte de los detritos por las corrientes marinas, están constantemente variando el centro de gravedad de nuestro planeta.

(2) El profesor Winchell ha sostenido antes que Doolittle la doctrina de que las estrellas fugaces han representado un papel muy importante en la determinacion de las

Ahora bien: caminando la luna interior de Marte más rápidamente que la superficie del planeta, sucederá que los habitantes de Marte verán salir su satélite por Poniente y ponerse por Levante.

## IX.

Y á esta velocidad y á esta apariencia deben estar predestinados los satélites de todos los planetas, si las causas hoy en acto continúan como hasta aquí. Y, entonces curiosos cambios están reservados á la tierra, á no cesar la lluvia meteórica; porque, de continuar suficientemente, saldrá tambien nuestra luna por Poniente para ponerse por Levante. Pero antes pasará una época, quizá larguísima, en que la luna ha de invertir un dia justamente en dar vuelta á la tierra, ocupando, por consecuencia, una posicion invariable en el cielo, visible así á medio globo únicamente, é invisible al otro; y, durante este largo período, sería muy posible que entrase el satélite en la sombra del planeta, y se mantuviese eclipsado tiempos de enorme duracion; ó quizá, interpuesto entre el sol y la tierra, eclipsara luengos años en determinados puntos la fuente del calor y de la luz.

Para la admision de semejantes fenómenos, hay solo que suponer la continuacion, como hasta aquí, del enjambre uranolítico. Pero DOOLITTLE no puede ménos de admitir discretamente que, á pesar de lo pasable de la hipótesis, pueda ser la lunilla de Marte una excepcion en el sistema solar (1), sin que nunca las lunas de los otros planetas lleguen á poseer tan rápida translacion. ¿Por qué? Porque, segun este profesor, los aerolitos pertenecen con mucha probabilidad al sistema de nuestro sol, y no entran en él desde más remotas extensiones siderales; y, siendo así, su número debe ser finito, y de ninguna manera inagotable. Tal vez ya esté cautivo el mayor número; y, en tal caso, la aceleracion de los movimientos orbitales debe llegar gradualmente á un no distante término. El peligro que por este concepto hubiera de correr la estabilidad de nuestro sis-

---

velocidades planetarias. Otro profesor de los Estados-Unidos, PARSONS, tambien ha sostenido la misma doctrina. Pero DOOLITTLE ha sido el primero en explicar por ella:

1.º La falta de coincidencia entre el plano ecuatorial del sol y las órbitas de los planetas y de sus planos ecuatoriales;

2.º Las excentricidades de las órbitas planetarias;

3.º La rapidez de Fobo, luna interior de Marte;

4.º Y las irregularidades de los períodos del cometa Encke.

La historia de esta concepcion merece conservarse, por ser una de las más importantes contribuciones de la época moderna á la antiquísima ciencia de la astronomía.

(1) A pesar de lo escasas que resultan las observaciones de Fobo, se sospecha que su excentricidad es considerable, lo que, á resultar cierto, constituiria una séria dificultad á la hipótesis de un medio tan resistente como es necesario admitir para dar cuenta de su enorme velocidad de translacion.

De cualquier modo, la gran hipótesis nebular de LAPLACE no basta á explicar la rapidez excepcional de Fobo.

tema astronómico, habria entonces de cesar, aunque nuestros remotísimos descendientes dejaran de gozar el hoy anormal espectáculo del nacimiento de la luna por el lado de Occidente.

Pero, si el enjambre uranolítico está lejos de agotarse todavía; si las regiones ultrasolares reemplazan indefinidamente el número colosal que á cada instante cautivan los astros de nuestro sistema; si las grandes velocidades de translacion de cada una de las lunas interiores de Júpiter y de Saturno, pueden fundadamente presentarse como una nueva sugestion de que tanto la una como la otra van aproximándose lentamente á los remotísimos tiempos en que hayan de girar más de prisa aún que las superficies mismas de sus planetas respectivos (1); si todo inclina acaso á imaginar que tambien nuestra luna llegará á salir por Occidente, y si todavía en tan distante época estuviesen en el estado líquido las aguas de nuestros mares..... entonces el freno que formase el elipsoide de las mareas en los futuros Océanos, amordazadas contra los fondos por la fuerza de la gravedad, aceleraria la rotacion de nuestro globo, convirtiéndose así gran parte de la velocidad de translacion de nuestro satélite en aceleracion sensible de nuestra rotacion diurna.

## X.

Y aquí tocamos á otra gran causa de parcial compensacion.

Imaginemos de nuevo el receptáculo en que, al atravesar por debajo de la línea de atraccion luni-solar, causa de la onda oceánica, represábamos una gran masa de agua para aprovechar luego su fuerza motriz. Como el líquido aprisionado no puede salir de la esfera de atraccion de la luna y del sol sino en virtud de la potente fuerza rotatoria de nuestro globo, éste necesariamente habrá de retardar su giro diurno. Pero la accion tiene que ser recíproca. Si la luna y el sol (en conjuncion) atraen la gran mole del agua, ésta atraerá á su vez la masa de ambos luminares. Ciertamente nos es lícito despreciar por completo la atraccion del líquido sobre el enorme volúmen del gran astro central; pero, por insignificante que queramos suponer la influencia de la mole represada sobre la masa de nuestro satélite, siempre habremos de concederle alguna cantidad asignable, y perceptible al fin en períodos de larga duracion.

Y ¿cuál será sobre la luna el efecto de esta atraccion del líquido aprisionado? El aumento de la velocidad orbitaria del satélite.

Así, pues, la rotacion de la tierra, si la civilizacion utilizara sistemáticamente la marea como fuerza motriz, se convertiria, por una parte, en trabajo

---

(1) Recuérdese que Saturno efectúa su rotacion en $10^h\ 30^m$, y que Mimas, su primer satélite, invierte $22^h$ en darle vuelta. El primer satélite de Júpiter emplea 1 dia telúrico $18^h$ en su revolucion, mientras el planeta gira sobre sí mismo en $9^h$ y $55^m$.

mecánico recogido en los talleres de la industria humana, y por otra en trabajo astronómico exteriorizado en aceleracion del movimiento de la revolucion de la luna alrededor de nuestro globo.

La Energía gastada en esta aceleracion (distinta de la meteórica imaginada por DOOLITTLE) permanecería almacenada, como en un volante colosal, en la masa misma de nuestro satélite; y, si la luna llegara algun dia á viajar alrededor de nuestra tierra con velocidad mayor que los puntos mismos de nuestra superficie, entonces esa preciosa provision de energía, procedente en parte de la constante atraccion de las moles represadas, sería devuelta por la luna á nuestro globo en aumento de su rotacion diurna.

## XI.

De todos modos, así como el carbon de piedra ha de tener un fin, tambien la rotacion de la tierra cesará en evo remotísimo.

Pero ¡inmensa es la Energía de que en las mareas podemos por miriadas de siglos disponer!

¡Y, sin embargo, ahí continúa esa exuberante potencia á orilla de los Océanos, enteramente inútil para el bien de la Humanidad!

# APÉNDICES AL LIBRO I.



## I.

### MAREAS EN EL MEDITERRÁNEO.

El Mediterráneo—península inmensa de agua—aunque considerado por varios autores como un mar sin mareas, es suficientemente extenso para que le afecten de un modo sensible las atracciones de la luna y del sol. Por tanto, posee una verdadera, si bien no considerable marea, eminentemente suya, ostensible, por supuesto, á los habitantes de sus costas, aunque se haya sostenido por algunos lo contrario.

Sin duda los atentos observadores habrán desde muy antiguo echado de ver periodicidad en la recurrencia de los cambios de nivel. bastante á identificarlos en cierto modo con los de las mareas atlánticas. Pero la exigüidad de los ascensos y descensos de las aguas en las mareas mediterráneas, y la gran magnitud relativa de las influencias perturbadoras y accidentales, habrán dado siempre tal carácter de irregularidad á los fenómenos, que su análisis y estudio habrá presentado constantemente dificultad casi insuperable.

No han existido, pues, sistemáticas investigaciones sobre el asunto hasta la aparicion en 1874 de la obra de Stahlberger, premiada por la Sociedad filosófica de Hungría, establecida en Buda-Pesth.

Las observaciones se empezaron en 1868, y duraron 3 años, en Fiume, puerto situado en el golfo de Quarnero, al fondo del Adriático, en el *littorale* húngaro.

Sobre las mareas observadas en Fiume tienen influencia la posicion de nuestros dos grandes luminares, la direccion y fuerza del viento y las fluctuaciones del barómetro.

Stahlberger divide los fenómenos en 2 clases:

Movimientos periódicos del agua, producidos por causas cósmicas;

Movimientos no periódicos, producidos por la influencia de agentes atmosféricos y locales (1).

En tiempos de calma (y hasta cierto punto en tiempos revueltos) las observaciones acusaron indisputables signos de periodicidad con apariencias de 2 especies:

Unas veces acusaban 2 bien definidos máximos y mínimos cada dia, á distancia próximamente de 6 horas;

Y otras veces solo un máximum y un mínimum, perfectamente definidos, cada 24 horas.

Estos 2 tipos, antes de manifestarse distintamente, se confundian en toda clase de gradaciones.

Los movimientos periódicos dependen del sol y de la luna.

La variacion semimensual de la marea mediterránea difiere de la atlántica.

Hay una altamar y una bajamar cada 24 horas próximamente, con más frecuencia que nuestra usual marea oceánica de 6 horas de flujo, y otras 6 de reflujo.

---

(1) Las anormalidades son sorprendentes en muchos casos. Por ejemplo, leo en *El Avisador Malagueño:*

«El lúnes se notó en el puerto un fenómeno digno de llamar la atencion. En el intervalo de 7 minutos hubo un flujo y reflujo en la marea, movimiento muy perceptible y verdaderamente extraño.»

El tiempo de la máxima bajamar avanza 2 horas cada mes sobre la marea media.

Como resultados generales, deben anotarse los siguientes.

| | |
|---|---|
| Máxima variacion diaria en Fiume.. | 0m,825 |
| Mínima........................ | 0m,259 |
| Variacion media.................. | 0m,583 |

Como casos excepcionales deben tomarse en consideracion los que siguen:

| | |
|---|---|
| Máxima elevacion en Fiume el 26 de diciembre de 1870............... | 0m,870 |
| Mínima en 11 de enero de 1869 bajo el cero sobre el cual se contó la máxima del 26 de diciembre 1870. | 0m,482 |
| Diferencia de niveles (máximo y mínimo)........................... | 1m,352 |

Como se ve, la diferencia entre los casos extremos es de bastante consideracion.

Vientos. Dada la forma del golfo de Quarnero, es evidente que los vientos del Sur harán entrar mucha agua en la especie de callejon sin salida donde se halla Fiume, al paso que los del Norte tenderán á arrojar el agua fuera del golfo. La direccion de los vientos tiene que ejercer, y ejerce, considerable influencia en los aguajes.

Barómetro. Cuando el peso de la atmósfera en una parte del mar Mediterráneo difiere del peso en otro punto algo distante, la diferencia de las presiones atmosféricas tiende á equilibrarse con la diferencia de niveles de las aguas, á razon de 13 $^1/_2$ centímetros de mayor altura de agua, donde el barómetro acusa un descenso de 1 centímetro de mercurio (1).

En el mismo Mediterráneo son notables las mareas en Túnez y Trípoli, en donde llegan á 2 metros cuando los vientos favorecen (2).

## II.

## MAREAS EN EL LAGO SUPERIOR.

En el Lago Superior (América del Norte) se habian notado desde hace mucho tiempo movimientos de elevacion y depresion en las aguas. Atribuyéronse á correspondientes descensos y subidas en la columna barométrica; pero un análisis más detenido ha hecho ver que los cambios de la presion atmosférica no son bastantes á dar razon del total de los fenómenos.

John Smith los ha estudiado con esmero, y sus observaciones le han llevado á concluir:

1.° Que los movimientos son análogos á los de las mareas atlánticas, y dependientes, por tanto, del sol y de la luna:

2.° Que, elevadas las aguas en una orilla, parte la onda de marea hácia la opuesta; y de allí rebota en opuesta direccion hácia aquella de donde partió (?).

No he podido proporcionarme datos sobre este interesantísimo retroceso, que, en escala colosal, confirmaría, á ser inconcuso, los experimentos de Bazin y las presunciones teóricas de Scott Russell.

## III.

## MAREAS DEL LAGO MICHIGAN.

En el *Report to the Bureau of topographical Engineers*, correspondiente á 1863, están los resultados de las observaciones dispuestas por el coronel Graham en Chicago, cerca del extremo Sur del lago de Michigan, de enero á julio de 1859. Estos resultados indican la existencia de mareas muy poco pronunciadas, sobre las que ejercen grandes influencias los vientos y las presiones barométricas.

(1) Véase la obra de Stahlberger *Az Arapaly Fiumei* y el periódico *Nature*, núm. 290.

(2) Fernandez Fontecha, *Astr. Náutica*.

# IV.

## DIFERENTES CLASES DE ONDAS.

Scott Russell dividió las ondas del agua en 4 órdenes, segun expresa el inmediato cuadro.

Llamó *libres* á las que todavía siguen propagándose, despues de cesar la causa que las originó: por ejemplo, las olas del mar, que continúan aún despues de calmar el viento. Llamó *forzadas* á las ondas que se suceden sin interrupcion por la accion contínua de su agente; como las mismas olas cuando prosigue el viento que las levanta.

Dió el nombre de estacionarias á las undulaciones que al parecer no avanzan; como las que se producen en agua corriente cuando el sentido de la propagacion es contrario á la marcha del líquido.

Un viento perezoso produce arrugas en el espejo de un lago, las cuales no tienen fuerza para propagarse. Una delicada punta, paseada sobre la superficie líquida de un recipiente, origina tambien finísimas arrugas, efecto, en un caso como en otro, de las fuerzas que en hidrostática producen los fenómenos de la atraccion capilar. Estas ondas, que agitan los fluidos á pequeñísima profundidad y que cesan con su causa, constituyen las ondas del tercer órden.

En el cuarto órden colocó Russell la modificacion invisible que sufre un líquido, cuando á través del mismo se propaga el sonido engendrado en el seno de su masa; modificacion dependiente de las fuerzas moleculares que determinan la elasticidad del flúido.

Hé aquí el cuadro:

SISTEMA DE LAS ONDAS EN EL AGUA.

| ORDEN. | 1.° | 2.° | 3.° | 4.° |
|---|---|---|---|---|
| Designacion. | Onda de translacion | Ondas oscilatorias. | Ondas capilares. | Onda corpuscular. |
| Caractéres.. | Solitaria.......... | Gregarias......... | Gregarias...... | Solitaria. |
| Especie..... | Positiva..........<br>Negativa.......... | Estacionaria. ....<br>Progresiva.. ..... | | |
| Variedad.... | Libre.............<br>Forzada . ........ | Libre.............<br>Forzada.......... | Libre..........<br>Forzada....... | |
| Ejemplos ... | La onda de marea.<br>La onda sonora del aire............ | Hervidero de una corriente.......<br>Olas del viento....<br>Encrespamiento del mar............ | Ondas dentadas.<br>Ondas del céfiro. | Onda sonora en el agua. |

Principalmente cuida Scott Russell de distinguir el movimiento de propagacion en las ondas, y el movimiento real de cada molécula: todo movimiento undulatorio, para él, está compuesto de dos elementos distintos; la figura de la onda y el cambio de lugar de las partículas. Su atencion especial se dirigió al transporte de esférulas inmergidas en el líquido, iguales á él en densidad; y, en virtud de sus observaciones, estableció lo siguiente.

Cuando las undulaciones son muy largas comparadas con su altura, puede determinarse aproximadamente el movimiento de cada esférula dividiendo la amplitud de la

onda (distancia de cresta á cresta) en un número cualquiera de partes iguales, y dividiendo tambien en el mismo número de partes la circunferencia de un círculo de diámetro igual á la altura de la onda, como demuestra el siguiente diagrama.

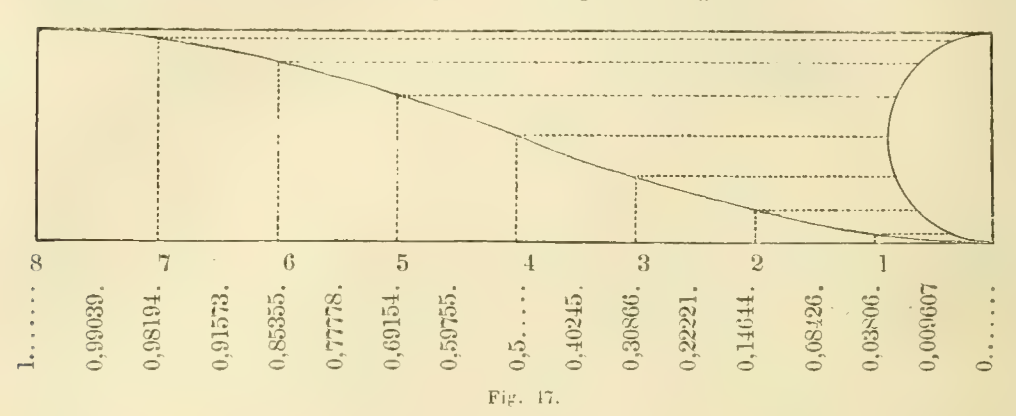



Fig. 17.

Así, pues, en la onda de translacion se levanta de su lugar cada molécula superficial, subiendo en tiempos iguales alturas desiguales, representadas por los cosenos 1, 2, 3 del diagrama, y al mismo tiempo se transportan hácia adelante en la direccion del movimiento de la onda, hasta quedar depositadas definitivamente en reposo, á una distancia de su primitiva posicion, igual al cuociente $\frac{\text{Volúmen}}{\text{Seccion}}$, anteriormente explicado.

Las moléculas no superficiales se trasladan todas á la distancia expresada por el mismo cuociente; pero sus cosenos corresponden á círculos de rádios, tanto más pequeños cuanto más se acercan al fondo, donde el rádio es igual á cero; de modo que la molécula del fondo se traslada en línea recta horizontal.

No hay, pues, retroceso ni oscilaciones. El transporte es todo en la misma direccion, y la eficacia de la translacion horizontal resulta idéntica en toda la profundidad del fluido, lo mismo en el fondo que en el medio ó en la superficie de cualquier plano de moléculas vertical y perpendicular á la direccion del canal; de modo que todos los planos verticales de moléculas se trasladan paralelamente á sí mismos la cantidad $\frac{\text{Volúmen}}{\text{Seccion}}$, mientras que, al mismo tiempo, se verifican las escursiones verticales correspondientes á cada partícula, segun su distancia al fondo.

La translacion comienza cuando la parte delantera de la onda llega á colocarse en la vertical de un plano vertical cualquiera de partículas; éstas aumentan su velocidad de translacion hasta que la cresta de la onda les pasa por encima, y, desde este instante, el movimiento de translacion se va retardando, hasta que, al fin, las partículas quedan en un perfecto estado de reposo, lo cual se verifica cuando la parte posterior de la onda ha terminado su tránsito por la vertical del plano en que las partículas se encuentran.

La onda solitaria tiene de base una longitud próximamente igual á 6 veces la profundidad del flúido, cuando la altura de la cresta es reducida, de modo que la longitud de la onda no difiere sensiblemente de la circunferencia rectificada de un círculo cuyo rádio fuese la profundidad del flúido.

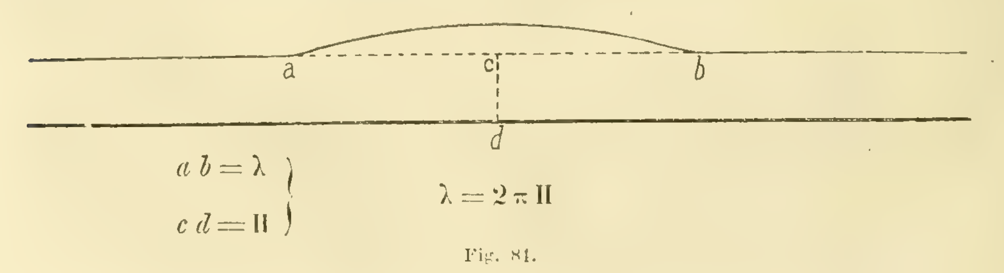



Fig. 84.

Naturalmente λ disminuye cuando aumenta la altura de la onda, pues, como sabemos, el volúmen de ésta es una cantidad constante igual al prisma (ú objeto equivalente) causador de la undulacion. La altura de la onda se acrecienta, cuando, *ya puesta en camino*, se estrecha el canal en que se propaga; y se aminora cuando ha recorrido mucho camino ó el fondo aumenta.

Si la diferencia de profundidad en los lados de un canal es muy considerable, una parte de la onda—la correspondiente al poco fondo—prosigue durante todo el período de la propagacion, rompiéndose y deshaciéndose en espuma sin cesar, como demostrando que en tales condiciones una onda contínua es imposible. En general, cuando una onda se ha disgregado en espuma, por falta de calado suficiente, la masa de agua que la constituia, forma casi en el acto otras ondas más pequeñas, las cuales siguen el movimiento de propagacion, para romperse á su vez cuando la profundidad viene á faltarles. Esto es aplicable á las olas del mar sobre las playas,—donde el fenómeno es muy comun.

Como la velocidad de la propagacion de las ondas solitarias depende de la profundidad del fondo, es natural que la velocidad sea mayor, como lo es, en las mareas vivas que en las muertas, y en las equinocciales más aún que en las solsticiales; hecho de importancia en ciertas localidades, que no siempre aparece tenido en cuenta al determinar el «establecimiento de puerto.»

Descubierta por Russell—inglés—la ley $\sqrt{g(H+h)}$, los franceses cuidaron de hacer notar que Lagrange, ciñéndose al caso de un canal poco profundo y horizontal, habia ya dicho, que, siendo las undulaciones, *por encima y por debajo* del nivel, infinitamente pequeñas, la velocidad de la propagacion resultaría igual á la de un grave descendente de una altura igual á la mitad de la profundidad (1).

Otros ingenieros (reconociendo real y efectivamente la diferencia en el modo de aparecer de la onda solitaria y los fenómenos de las gregarias) desean, sin embargo, nuevas observaciones, hechas con la mayor escrupulosidad científica, á fin de averiguar si hay ó no un lazo comun entre todos los órdenes de ondas,—reducidos entonces á casos particulares de una ley general (2).

No es improbable que una síntesis abarcadora dé con el ligámen apetecido; pero el gran número de hechos, ya comprobados, permanecerá como adquisicion definitiva, independientemente de las fórmulas que los hagan entrar en leyes más generales.

Siendo el agua incompresible, pero capaz de formas infinitas, ningun paralepípedo recto de agua puede disminuir su base horizontal sin aumentar su altura vertical, ni aumentar su altura sin disminuir su dimension horizontal; porque, en general, no puede haber cambio visible de forma sin alteracion de la relativa posicion de la materia, y sin una undulacion en los flúidos. Las atracciones del sol y de la luna producen, pues, movimientos considerables en el Océano, que necesariamente se han de traducir en ondas, cuya ley de propagacion parece muy natural que esté regida por la gran constante $g$ de la gravedad, y cuya velocidad dependa de la profundidad del fondo de los mares.

Hay quienes lo creen así, fundándose en hechos que resultan sobrado concordantes

---

(1) Sin quitar su mérito á Lagrange, es preciso reconocer, con verdad, que hay una inmensa distancia entre ver un caso particular, y producir en toda su generalidad un gran sistema, como el de Russell, que ha podido luego suministrar principios para

La construccion de canales;
La navegacion por ellos;
La mejora de los rios de marea;
La navegacion por ellos;
La perfeccion de las tablas de marea;
Y la mejora de la arquitectura naval.

Pues es de saber que, segun sean las ondas producidas por un buque al cortar las aguas, así se facilitará ó dificultará su movimiento.

(2) Sobre esto se expresa P. de la Sala como sigue:

«Las olas nunca son ondas de translacion ó de primer órden, pero se convierten en ellas cuando se acerca el momento de romper sobre la playa.....»

Esto es una prueba más, que confirma las dudas emitidas, relativas á la diferencia radical que Scott Russell establece entre los dos órdenes de ondas, y hace sospechar exista una relacion entre ellas, y un tránsito de la una á la otra, ligado por una fórmula comun, segun propone Airy, con términos predominantes en cada caso.

para parecer meras coincidencias; pero hay tambien quienes se abstienen, temerosos de una precipitacion que la ciencia siempre ha condenado: el deseo por ambas partes es inmejorable, y plausible la actitud de todos.

¿Qué nos corresponde hacer? Aguardar aún.

Esperemos, pues el fallo, que no tardará en dar el impasible juez de la imparcialidad: EL TIEMPO (1).

## V.

El Instituto hidrográfico de los Estados-Unidos ha publicado hace poco, como Apéndice al informe de 1874, relativo á la triangulacion de las costas *(United States coast survey report,* 1874) las investigaciones que sobre las mareas ha llevado á término el eminente hidrógrafo WILLIAM FERREL, Miembro de aquella Academia Nacional de Ciencias. Este Apéndice constituye por sí solo una obra notabilísima, fruto de muchos años de laboriosísimos estudios, y cuantos tengan interés en estar al corriente de los últimos progresos hechos en la parte especulativa y matemática de la complicada cuestion de las mareas, deben apresurarse á consultar tan elaborado libro.

El objeto del autor es más bien telúrico que astronómico, puesto que en la obra hace resaltar prominentemente los efectos de la friccion de las aguas en los fondos oceánicos y en las costas. Para el autor el problema es, por supuesto, hidrodinámico y no estático: es dependiente en parte de las circunstancias terrestres, y en parte de la perturbacion lunisolar; y, por tanto de la convexidad y rotacion de nuestro planeta, las irregularidades del fondo del mar y de los perfiles litorales, las resistencias de los flúidos, y las distancias variables del sol y de la luna.

WILLIAM FERREL, en una introduccion de mano maestra, pasa revista á los trabajos de sus predecesores (2); hace notar la insuficiencia de las hipótesis hidrostáticas de NEWTON, BERNOUILLI y MACLAURIN; eleva á EULER sobre sus competidores, por haber abandonado la teoría del equilibrio, y querido tratar la cuestion como un problema de movimiento de flúidos; encomia los trabajos de LAPLACE, por haber considerado el asunto hidrodinámicamente, si bien echa de ménos en sus complicadas ecuaciones la influencia de la friccion; encomia más aún los originales resultados de YOUNG, hechos sin noticia, ó, por lo ménos, sin gran conocimiento de los de sus antecesores, y en los cuales aparece ya por vez primera el rozamiento como necesaria componente de la marea; califica los trabajos concienzudos hechos por AIRY de valioso suplemento á la teoría de LAPLACE; y, despues de hacerse cargo de las estimables y laboriosas séries de observaciones llevadas á término y discutidas por LUBBOCK, WHEWELL, FITZ ROY y THOMPSON, el académico americano manifiesta que la tendencia general del rozamiento en todos los casos, segun los resultados obtenidos por YOUNG en sus expresiones analíticas para las mareas con constantes desconocidas, y el efecto absoluto de esa tendencia cuando la constante de la friccion es conocida, segun las conclusiones de AIRY para casos especiales, han explicado muchas particularidades, no accesibles á la teoría de LAPLACE, quien supone mareas sin rozamiento sobre un elipsoide de revolucion: y sin embargo, á pesar de tanto esfuerzo, tanto ingenio y tanta ciencia, en todo cuanto

(1) Es muy de notar que la fórmula $\sqrt{g\,(H+h)}$ no es una teoría, sino la expresion de una ley, comun á muchos hechos; y, por tanto, que no implica la admision de hipótesis ninguna especial, como, por ejemplo, el movimiento en círculo de las moléculas, base, en que muchos autores fundan la teoría de las ondas.

(2) NEWTON, *Principia,* lib. III, prop. 24, prop. 36, prop. 19, prop. 37.

BERNOUILLI, Traité sur le Flux et Reflux de la mer.

MACLAURIN, De causa physica Fluxus et Refluxus maris.

EULER, Inquisitio physica in causam Fluxus et Refluxus maris.

LAPLACE, Mécanique Céleste.

YOUNG, Encyclopædia Britannica.

AIRY, *Encyclopædia Metropolitana:* Tides and waves. 2 Division, vol. V. *Phil. Trans.*, vol. CXXXV.

LUBBOCK, *Phil. Trans.*, for. 1831 y siguientes.

WHEWELL, *Phil. Trans.*, for. 1836 y siguientes.

FITZ ROY, The Weather Book.

THOMPSON and TAIT, Natural Philosophy.

concierne á los resultados cuantitativos, la teoría de las mareas permanece, hoy por hoy, casi en el mismo caso en que LAPLACE la dejó, comparada con los casos reales que la naturaleza ofrece.

Muchos fenómenos permanecen aún sin explicacion, y entre ellos el más rebelde parece ser la retardacion de la marea máxima uno á dos dias despues del momento de la máxima fuerza luni-solar. Los efectos de la friccion obtenidos por YOUNG y AIRY son sin duda pertinentes, pero no parecen adecuados para dar cuenta de tan considerable cantidad de retardo, á ménos de admitir que la constante de la friccion es, contra toda razon, demasiado grande, y dependiente, en tal caso, de condiciones peculiares y raras, que no podemos suponer pertenecientes á todas las partes del Norte del Atlántico.

Una verdadera y exacta teoría de las mareas deberia suministrar materiales para deducir la masa de la luna en conformidad con los datos astronómicos. Y una buena aquilatacion de esta teoría de las mareas sería el que de las observaciones hechas en todos los puertos, se dedujese siempre la misma masa lunar. Pero, como es sabido, ni la teoría hidrostática, ni la hidrodinámica de LAPLACE, en que se prescinde del rozamiento, ofrecen determinaciones, no digamos más exactas que las astronómicas, pero ni aun siquiera, en ocasiones, lo suficientemente aproximadas que fuera preciso para servirles de confirmacion.

El hidrógrafo americano no se propone formar un completo tratado de las mareas y de sus aplicaciones prácticas, sino un suplemento á los trabajos hechos hasta la aparicion de su obra, y no hay parte de la doctrina en que no obtenga nuevos resultados, ó no presente con mayor lucidez y concision los obtenidos. Débese éxito tan importante á la minuciosidad con que FERREL ha llevado en cuenta los efectos del rozamiento, computando más completamente las resistencias friccionales: pero, por mucho que haya conseguido, quedan aún por obtener soluciones cuantitativas absolutas, aplicables á todos los casos reales de la naturaleza. Y el autor mismo se ve obligado á comparar el presente estado de la teoría de las mareas, al de la astronomía de hace 2000 años, en que era necesario determinar por la observacion toda irregularidad de movimiento en la marcha del sol, la luna y los planetas, sin que la teoría fuese capaz de llegar á esas irregularidades, partiendo de unos pocos datos suministrados por la observacion.

WILLIAM FERREL halla en el rozamiento de la marea con los fondos de los mares la causa de la retardacion de la rotacion terrestre, pero sus fórmulas determinan solo la cualidad del efecto, no el *quantum*. La aceleracion secular del movimiento orbital de la luna es, en parte, una apariencia negativa, correspondiente á la retardacion positiva de nuestra rotacion planetaria; y, puesto que la accion y la reaccion son iguales y contrarias, la pérdida de la rotacion terrestre por la accion de la luna debe dar por resultado á su vez un retardo real en la revolucion de nuestro satélite (1).

La accion retardatriz de la tierra sobre la rotacion de la luna alrededor de su eje, es á la de la luna sobre la rotacion terrestre, como los cuadrados de las masas, *cæteris paribus*, y por consiguiente, como 1 á más de 6000.

Suponiendo, pues, una primitiva fluidez en la luna durante largo espacio de tiempo, nuestra atraccion planetaria produciria grandes mareas en nuestro satélite, las cuales poco á poco irian disminuyendo la velocidad rotatoria lunar, hasta que el período de la rotacion llegara á coincidir con el de la revolucion, como actualmente sucede. De este modo la accion de todos los planetas sobre sus satélites debe haber hecho que los períodos de rotacion de estos sean iguales á los de revo-

(1) FERREL reivindica para sí la prioridad de estas ideas, citando el volúmen VI de los *Proceedings* de la *American Academy of Arts and Sciences*, diciembre 13 de 1864, un año antes de que DELAUNAY leyese ante la Academia de Ciencias de París (*Comptes rendus*, 11 diciembre 1865) su estudio sobre la aceleracion secular del movimiento orbital de la luna, que, no pudiendo ser totalmente explicado por el cambio secular de la excentricidad de la órbita terrestre, necesitaba, para reconciliar la teoría con la observacion, la accion de otra causa retardatriz, al fin encontrada en la marea, ó á ella atribuida.

El efecto de la accion retardatriz de las mareas sobre el movimiento orbital de la luna fué primero indicado por BERTRAND en un estudio presentado á la Academia de Ciencias de París en 26 de Enero de 1866.

Las conferencias de DELAUNAY *Sur le ralentissement du mouvement de rotation de la terre* datan de 1866.

lucion, hasta presentar cada luna á su planeta el mismo lado siempre.

El efecto de las mareas, retardando la accion terrestre, se halla contrariado por la contraccion, efecto del enfriamiento, que acorta el radio terrestre, segun FOURIER, 7 milímetros por siglo.

La obra de FERREL muestra un gran progreso en la teoría matemática y en la influencia de la friccion, como se evidencia por el gran número de correcciones hechas y de errores descubiertos y remediados en las teorías de los insignes geómetras que han consagrado, aunque sin todo el fruto apetecido. la perspicuidad de sus fórmulas á la oscura cuestion de las mareas.

La mejora matemática consiste en presentar las expresiones analíticas de las mareas en formas que tienen el menor número posible de constantes desconocidas; y en esto FERREL ha logrado mejor su objeto que los analistas sus predecesores. Pero todavía la teoría está muy lejos de coincidir con la realidad, y las discrepancias no pueden atribuirse á los naturales errores de la observacion. Como prueba, véanse los siguientes resultados que el cálculo de las mareas da para la masa de la luna (1).

Segun las mareas de Brest.. $\mu = \frac{1}{78.0}$ (2).

$\mu = \frac{1}{77.4}$

$\mu = \frac{1}{77.1}$

$\mu = \frac{1}{62.5}$

Segun las mareas de Boston. $\mu = \frac{1}{81.7}$

Segun las mareas de Liverpool.................... $\mu = \frac{1}{70.4}$

$\mu = \frac{1}{73.3}$

Segun las mareas de Portland Breakwater............ $\mu = \frac{1}{80.1}$

Segun las mareas de Fort-Point................. $\mu = \frac{1}{76.6}$

$\mu = \frac{1}{61.8}$

Segun las mareas de Kurrachee.................. $\mu = \frac{1}{76.5}$

$\mu = \frac{1}{78.6}$

$\mu = \frac{1}{77.8}$

Las diferencias referentes á un mismo punto dependen de haberse tomado en cuenta, ó no, todas las constantes, especialmente las de la friccion.

WILLIAM FERREL atribuye lo excepcional de las mareas septentrionales del Atlántico á oscilaciones marinas producidas por la accion luni-solar en la direccion de los paralelos de latitud; y tan hostil se muestra á la doctrina de una onda progresiva procedente del Océano del Sur y dirigida hácia el Norte, que no vacila en afirmar rotundamente, que, si existiera un dique desde el Cabo de Buena Esperanza á la punta Sur de América, las mareas continuarian siendo lo que hasta aquí en el Norte del Atlántico.

Vemos, pues, que la ciencia especulativa ha salido ya de aquella época en que solamente se tenian en cuenta los datos astronómicos. Hoy las condiciones físicas y telúricas tienen entrada en las fórmulas antiguas, y los datos de la observacion se acumulan en séries sistemáticas y de inmenso valer. Ningun trabajo es perdido; y, si no hay teoría definiti-

(1) Las más fidedignas determinaciones astronómicas por medio de la constante de la nutacion y de las desigualdades de la luna, dan una masa $= 0{,}01252, =$ próximamente $\frac{1}{80}$.

(2) LAPLACE habia deducido, no llevando en cuenta la friccion, $\frac{1}{75}$.

va, la esperanza nos dice que la habrá. ¿Buscamos soluciones? Es que vienen.

No aparece, pues, que exista aún caudal suficiente de observacion para una teoría definitiva. Cada dia se presentan nuevos hechos, ó por lo ménos se vislumbran nuevos órdenes de fenómenos, inesperados á veces. ¿No hay motivos para creer que el nivel de los Océanos es en el Norte más alto en nuestro invierno que en nuestro verano? ¿No es de esperar que el casquete de nieves del hemisferio austral vaya, con cada corriente de aire relativamente caliente que hácia él se dirija y se condense, aumentando de un modo considerable durante el largo ciclo de 10.000 años, resultante de los movimientos encontrados del eje de la tierra y de la línea de los ápsides? ¿Sabemos lo que la denudacion de los continentes y los acarreos de los mares contribuirá, unida á la mayor fusion de los hielos boreales (por ser ahora el verano 8 dias mayor para el Norte que para el Sur) á variar la posicion del centro de gravedad de nuestro globo? ¿No ignoramos por completo lo que cede la corteza terrestre, bajo las atracciones del sol y de la luna, así esté el interior lleno de un líquido en fusion, ó se conciba enteramente sólido, ó bien sean sólidos, tanto el centro por la enorme presion interna, como la costra exterior por el mayor enfriamiento, y líquido el intermedio? ¿No se ha calculado, puesto que no hay material infinitamento rígido, que una envoltura de la rigidez del acero, y con 500 kilómetros de espesor, cederia como si fuese caoutchouc á las agencias de la fuerza centrífuga y de la atraccion luni-solar? ¿Qué influye en las mareas esta deformacion del globo? ¿Cuál es su absoluta rigidez? La subida y bajada de las aguas ¿es una diferencia entre las oscilaciones ácueas y las terrestres? O ¿es enteramente sólida la tierra, y tan rígida que la atraccion luni-solar no la deforma en nada á cada instante?

Ni aun sabemos tampoco en absoluto cuál es la longitud del radio de la tierra: solo nos consta que, mientras mejor se la mide, y con más exactas triangulaciones se hace el cómputo, más y más aumenta la longitud del radio, y mayor tambien resulta el achatamiento. Al empezar el siglo, el radio de una esfera de igual volúmen que el esferoide terrestre, se estimaba = 6369284 metros; hoy se computa = 6370000 (1).

(1) Ueber unsere jetzige Kenntniss der Gestalt und Grösse der Erde, por JOHANN BENEDICT LISTING; Gotinga, 1872.

Neue geometrische und dynamische Constanten des Erdkörpers, por el mismo; Gotinga, 1878.

Es sumamente interesante el siguiente cuadro en que LISTING compara los

*Resultados obtenidos en este siglo.*

| AÑOS. | AUTORES. | Semi-eje mayor meridiano. — *Metros.* | Semi-eje polar. — *Metros.* | Achatamiento polar. | Radio de una esfera de igual volúmen que el correspondiente elipsoide de rotacion. — *Metros.* |
|---|---|---|---|---|---|
| 1800. | DELAMBRE | 6375653 | 6356564 | 1 : 331 | 6369284 |
| 1819. | WALBECK | 6376896 | 6355833 | 1 : 302,781 | 6369868 |
| 1830. | SCHMIDT | 6376945.4 | 6355520.9 | 1 : 297,648 | 6369796 |
| 1830. | AIRY | 6377490.5 | 6356184.3 | 1 : 299,33 | 6370380 |
| 1841. | BESSEL | 6377397.16 | 6356078.96 | 1 : 299,153 | 6370283 |
| 1856. | CLARKE | 6377935.8 | 6356521 | 1 : 297,72 | 6370790 |
| 1858. | CLARKE | 6378293.7 | 6356618 | 1 : 294,26 | 6371060 |
| 1861. | CLARKE | 6378253.6 | 6356614.4 | 1 : 294,754 | 6371032 |
| 1863. | CLARKE | 6378288.2 | 6356620.1 | 1 : 294,36 | 6371057 |
| 1863. | PRATT | 6378245.2 | 6356643.3 | 1 : 295,26 | 6371036 |
| 1866. | CLARKE | 6378206.4 | 6356583.8 | 1 : 294,989 | 6370990 |
| 1868. | FISCHER | 6378338.3 | 6356229.6 | 1 : 287,5 | 6370960 |
| 1872. | LISTING | 6377365 | 6355298 | 1 : 289 | 6370000 |

El achatamiento se consideraba entonces $= \frac{1}{334}$ : hoy $= \frac{1}{288,48}$.

En lo que va de siglo ha resultado el radio medio de la tierra aumentado casi en $1\,^2/_3$ kilómetros, lo que corresponde á un aumento de volúmen de más de 5.000 millones de kilómetros cúbicos: que, si fueran repentinamente agregados á la tierra en forma líquida, la inundarian de tal modo, que dejarian sumergidas montañas como el Rigi, de 1.800 metros (1). ¿Qué cantidad, pues, se pone en los cálculos puramente teóricos de la marea, como constante del radio terrestre? ¿Cuál para la constante de la gravedad?

Sabemos aún muy poco.

---

En la segunda de las citadas obras, fundándose Listing en las mediciones pendulares, estima el achatamiento $= \frac{1}{288,48}$.

(1) Die Wassermasse, welche durch Ebbe und Fluth binnen 24 Stunden von Ost nach West um die Erde durch alle Meridiane bewegt wird, kann auf 250 Cubik-Meilen veranschlagt werden, ein Volumen, welches man überraschend gross finden mag in Betracht der Kleinheit der Ursache welche die Bewegung hervorbringt.

Eine Wassermenge von diesem Volumen als gleichförmig bedeckende Schicht zur Erde hinzugefügt, würde Berge von der Höhe etwa des Rigi unter Wasser setzen.

# LIBRO II.

## LAS MAREAS EN ESPAÑA.

# CAPITULO I.

## AMPLITUD DE LA MAREA.

### I.

Prescindiendo de casos extremos (Estrecho de Gibraltar, etc.), en España, desde Santander á Cádiz, solo hay diferencias de decímetros en los niveles de las mareas. En nuestros puertos se verifican próximamente cada dia dos pleamares y dos bajamares. Las aguas suben durante unas seis horas, y, despues de alcanzar su mayor altura, permanecen sensiblemente paradas como media hora. Empieza en seguida el reflujo, que dura menos de seis horas, y, al ocurrir la bajamar, vuelven á quedarse paradas, como sucedió en la pleamar. Las aguas suben y bajan con mucha lentitud en los momentos inmediatos á la pleamar y á la bajamar. En los intermedios ascienden y descienden con rapidez (1). Las mareas mayores se verifican de 36 á 39 horas despues de las sizigias.

El desnivel, en un mismo y determinado punto, presenta entre la pleamar y la bajamar subsiguiente diferencias muy notables, segun que el flujo y el reflujo se verifican en la época de las sizigias, ó en la época de las cuadraturas.

Para hacer patente este particular (el más interesante sin duda desde el punto de vista dinámico é industrial), he formado los estados siguientes, demostrativos de las distancias de nivel entre la primera pleamar y la primera bajamar de cada uno de los dias del año de 1869, á la entrada de la ria de Santander (170 metros al S. O. de la Isla de la Torre) (2).

---

(1) FERNANDEZ FONTECHA, Astr. Náut.

(2) Estos datos están sacados de los Almanaques marítimos publicados por el Sr. Don MARTIN FERREIRO, del Depósito Hidrográfico.

| | Decímetros. | | | | Decímetros. | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Altura de la pleamar. | Altura de la bajamar. | Diferencias. | | Altura de la pleamar. | Altura de la bajamar. | Diferencias. |
| Enero (1).... | 41 | 5 | 36 | Febrero....... | 33 | 11 | 22 |
| | 40 | 6 | 34 | | 32 | 14 | 18 |
| | 39 | 6 | 33 | | 31 | 15 | 16 |
| | 37 | 8 | 29 | | | 14 | |
| | 36 | 10 | 26 | | 32 | 13 | 19 |
| | 35 | 11 | 24 | | 33 | 13 | 20 |
| | 33 | 13 | 20 | | 35 | 11 | 24 |
| | 33 | 13 | 20 | | 36 | 10 | 26 |
| | 33 | 12 | 21 | | 37 | 9 | 28 |
| | 36 | 10 | 26 | | 38 | 8 | 30 |
| | 37 | 9 | 28 | | 38 | 8 | 30 |
| | 38 | 8 | 30 | | 39 | 7 | 32 |
| | 38 | 8 | 30 | | 38 | 8 | 30 |
| | 38 | 8 | 30 | | 37 | | |
| | 37 | 11 | 26 | | 35 | 11 | 24 |
| | 36 | 10 | 26 | | 34 | 13 | 21 |
| | 35 | 11 | 24 | | 32 | 14 | 18 |
| | 34 | | | | 31 | 16 | 15 |
| | 33 | 13 | 20 | | 30 | 15 | 15 |
| | 31 | 13 | 18 | | 33 | 13 | 20 |
| | 30 | 14 | 16 | | 35 | 11 | 24 |
| | 32 | 16 | 16 | | 39 | 7 | 32 |
| | 32 | 15 | 17 | | 42 | 4 | 38 |
| | | 14 | | | 45 | 1 | 44 |
| | 34 | 12 | 22 | | 44 | 1 | 43 |
| | 36 | 10 | 26 | Marzo......... | 44 | 2 | 42 |
| | 39 | 9 | 30 | | 42 | 4 | 38 |
| | 41 | 5 | 36 | | 39 | 5 | 34 |
| | 42 | 4 | 38 | | 36 | 8 | 28 |
| | 43 | 3 | 40 | | 33 | 12 | 21 |
| | 42 | 4 | 38 | | 30 | 14 | 16 |
| Febrero....... | 39 | | | | 29 | 16 | 13 |
| | 38 | 6 | 32 | (2) | | 17 | |
| | 36 | 9 | 27 | | 30 | 16 | 14 |

(1) Se supone, para medir las alturas, una línea cero (la de la mayor bajamar del mes de octubre). Así, pues, la primera bajamar de enero de 1869 se elevó sobre esa línea 5 decímetros, y la primera pleamar 41: diferencia, 36 decímetros.

(2) Muchos dias no hay dos pleamares y dos bajamares, porque, como sabemos, la luna invierte más de 24 horas entre dos culminaciones sucesivas; y porque en nuestras costas gobierna principalmente nuestras mareas el tránsito de nuestro satélite por el meridiano.

| | DECÍMETROS. | | | | DECÍMETROS. | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Altura de la pleamar. | Altura de la bajamar. | Diferencias. | | Altura de la pleamar. | Altura de la bajamar. | Diferencias. |
| Marzo......... | 32 | 14 | 18 | Abril......... | 32 | 13 | 19 |
| | 34 | 12 | 22 | | 31 | 15 | 16 |
| | 35 | 11 | 24 | | 32 | 15 | 17 |
| | 37 | 9 | 28 | | | 13 | |
| | 38 | 8 | 30 | | 36 | 10 | 26 |
| | 39 | 7 | 32 | | 39 | 7 | 32 |
| | 39 | 7 | 32 | | 42 | 4 | 38 |
| | 39 | 7 | 32 | | 43 | 3 | 40 |
| | 38 | 8 | 30 | | 44 | 2 | 42 |
| | 37 | 10 | 27 | | 43 | 3 | 40 |
| | 35 | 12 | 23 | | 41 | 5 | 36 |
| | 33 | 14 | 19 | | 41 | 5 | 36 |
| | 31 | 16 | 15 | Mayo......... | 36 | 9 | 27 |
| | 30 | 16 | 14 | | 32 | 12 | 20 |
| (1) | | 14 | | | 30 | 14 | 16 |
| | 31 | 12 | 19 | | 29 | 16 | 13 |
| | 36 | 10 | 26 | | 29 | 17 | 12 |
| | 38 | 7 | 31 | | 30 | 16 | 14 |
| | 42 | 4 | 38 | | 32 | 14 | 18 |
| | 44 | 2 | 42 | | 34 | 12 | 22 |
| | 45 | 1 | 44 | | 36 | 10 | 26 |
| | 44 | 2 | 42 | | 36 | 10 | 26 |
| Abril......... | 39 | | | | 38 | 8 | 30 |
| | 36 | 8 | 28 | | 38 | 8 | 30 |
| | 32 | 12 | 20 | | 39 | 7 | 32 |
| | 29 | 15 | 14 | | 39 | 7 | 32 |
| Mínima...... | 26 | 17 | 9 | | 38 | 8 | 30 |
| | 27 | 17 | 10 | | 36 | | |
| (1) | | 16 | | | 36 | 10 | 26 |
| | 33 | 13 | 20 | | 35 | 12 | 23 |
| | 35 | 11 | 24 | | 33 | 14 | 19 |
| | 37 | 9 | 28 | | 32 | 13 | 19 |
| | 38 | 8 | 30 | | 33 | 12 | 21 |
| | 39 | 7 | 32 | | 36 | 10 | 26 |
| | 39 | 7 | 32 | | 39 | 7 | 32 |
| | 40 | 6 | 34 | | 40 | 6 | 34 |
| | 39 | 7 | 32 | | 41 | 5 | 36 |
| | 38 | 8 | 30 | | 42 | 4 | 38 |
| (1) | 36 | | | | 41 | 5 | 36 |
| | 34 | 11 | 23 | | 40 | 6 | 34 |

(1) Véase la nota anterior.

| | Decímetros. | | | | Decímetros. | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Altura de la pleamar. | Altura de la bajamar. | Diferencias. | | Altura de la pleamar. | Altura de la bajamar. | Diferencias. |
| Mayo......... | 38 | 8 | 30 | Julio.......... | 40 | 6 | 34 |
| | 36 | | | | 40 | 5 | 35 |
| | 34 | 12 | 22 | | 40 | 6 | 34 |
| Junio......... | 32 | 14 | 18 | | 39 | 7 | 32 |
| | 30 | 15 | 15 | | 37 | 8 | 29 |
| | 29 | 16 | 13 | | 36 | 10 | 26 |
| | 30 | 16 | 14 | | 34 | 11 | 23 |
| | 31 | 15 | 16 | | 34 | 12 | 22 |
| | 33 | 13 | 20 | | 34 | 13 | 21 |
| | 34 | 12 | 22 | | 34 | 12 | 22 |
| | 36 | 10 | 26 | | 35 | 11 | 24 |
| | 38 | 8 | 30 | | 36 | 10 | 26 |
| | 38 | 8 | 30 | | 37 | 9 | 28 |
| | 39 | 7 | 32 | | 38 | 8 | 30 |
| | 39 | 7 | 32 | | 38 | 8 | 30 |
| | 38 | 8 | 30 | | 38 | 8 | 30 |
| | 38 | | | | 37 | 9 | 28 |
| | 36 | 8 | 28 | | 36 | 10 | 26 |
| | 35 | 10 | 25 | | 35 | | |
| | 34 | 11 | 23 | | 33 | 12 | 21 |
| | 34 | 12 | 22 | | 32 | 13 | 19 |
| | 36 | 12 | 24 | Agosto....... | 31 | 15 | 16 |
| | | 11 | | | 30 | 15 | 15 |
| | 37 | 9 | 28 | | 31 | 15 | 16 |
| | 38 | 8 | 30 | | | 14 | |
| | 38 | 8 | 30 | | 34 | 12 | 22 |
| | 39 | 7 | 32 | | 36 | 10 | 26 |
| | 39 | 8 | 31 | | 39 | 7 | 32 |
| | 38 | 8 | 30 | | 41 | 5 | 36 |
| | 37 | 8 | 29 | | 42 | 4 | 38 |
| | 36 | 10 | 26 | | 43 | 3 | 40 |
| | 35 | | | | 42 | 4 | 38 |
| | 33 | 12 | 21 | | 41 | | |
| Julio.......... | 31 | 14 | 17 | | 39 | 6 | 33 |
| | 31 | 14 | 17 | | 36 | 9 | 27 |
| | 30 | 15 | 15 | | 34 | 12 | 22 |
| | 31 | 15 | 16 | | 32 | 14 | 18 |
| | 31 | 14 | 17 | | 32 | 15 | 17 |
| | 33 | 13 | 20 | | 32 | 15 | 17 |
| | 35 | 11 | 24 | | 34 | 12 | 22 |
| | 37 | 9 | 28 | | 35 | 11 | 24 |
| | 39 | 7 | 32 | | 37 | 9 | 28 |
| | 40 | 6 | 34 | | 38 | 8 | 30 |

| | DECÍMETROS. | | | | DECÍMETROS. | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Altura de la pleamar. | Altura de la bajamar. | Diferencias. | | Altura de la pleamar. | Altura de la bajamar. | Diferencias. |
| Agosto... .... | 38 | 8 | 30 | Octubre....... | 43 | 3 | 40 |
| | 39 | 8 | 31 | | 45 | 1 | 44 |
| | 38 | 8 | 30 | Máxima... ... | 47 | 0 | 47 |
| | 37 | 9 | 28 | | 45 | 1 | 44 |
| | 36 | 10 | 26 | | 42 | 4 | 38 |
| | 35 | 10 | 25 | | 38 | | |
| | 33 | 12 | 21 | | 35 | 10 | 25 |
| | 31 | 14 | 17 | | 31 | 13 | 18 |
| | 30 | 16 | 14 | | 29 | 16 | 13 |
| Setiembre.... | 30 | 16 | 14 | | 29 | 17 | 12 |
| | 32 | 15 | 17 | | 31 | 16 | 15 |
| | 33 | 13 | 20 | | 32 | 14 | 18 |
| | 36 | 10 | 26 | | 34 | 12 | 22 |
| | 40 | 6 | 34 | | 36 | 10 | 26 |
| | 42 | 4 | 38 | | 38 | 8 | 30 |
| | 44 | 2 | 42 | | 39 | 7 | 32 |
| | 44 | 2 | 42 | | 39 | 7 | 32 |
| | 44 | 2 | 42 | | 39 | 7 | 32 |
| | 42 | 4 | 38 | | 39 | 7 | 32 |
| | 39 | 6 | 33 | | 38 | 8 | 30 |
| | 35 | 9 | 26 | | 36 | 10 | 26 |
| | 32 | 12 | 20 | | 34 | | |
| | 30 | 14 | 16 | | 32 | 12 | 20 |
| | 30 | 16 | 14 | | 31 | 14 | 17 |
| | | 15 | | | 31 | 16 | 15 |
| | 33 | 13 | 20 | | 30 | 15 | 15 |
| | 35 | 11 | 24 | | | 13 | |
| | 37 | 9 | 28 | Noviembre... | 37 | 9 | 28 |
| | 38 | 8 | 30 | | 40 | 6 | 34 |
| | 39 | 7 | 32 | | 42 | 4 | 38 |
| | 40 | 6 | 34 | | 43 | 3 | 40 |
| | 39 | 7 | 32 | | 43 | 3 | 40 |
| | 38 | 8 | 30 | | 42 | 4 | 38 |
| | 37 | 9 | 28 | | 41 | 5 | 36 |
| | 36 | 10 | 26 | | 38 | | |
| | 35 | 11 | 24 | | 34 | 10 | 24 |
| | 32 | 13 | 19 | | 32 | 13 | 19 |
| | 30 | 16 | 14 | | 30 | 15 | 15 |
| | 30 | 17 | 13 | | 29 | 18 | 11 |
| Octubre... ... | 32 | 16 | 16 | | 30 | 16 | 14 |
| | | 14 | | | 31 | 15 | 16 |
| | 37 | 9 | 28 | | 33 | 13 | 20 |
| | 40 | 6 | 34 | | 35 | 11 | 24 |

| | DECÍMETROS. | | | | DECÍMETROS. | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Altura de la pleamar. | Altura de la bajamar. | Diferencias. | | Altura de la pleamar. | Altura de la bajamar. | Diferencias. |
| Noviembre... | 36 | 10 | 26 | Diciembre.... | 31 | 14 | 17 |
| | 38 | 8 | 30 | | 30 | 15 | 15 |
| | 38 | 7 | 31 | | 30 | 16 | 14 |
| | 39 | 7 | 32 | | 31 | 16 | 15 |
| | 38 | 7 | 31 | | 32 | 15 | 17 |
| | 38 | 8 | 30 | | 33 | 13 | 20 |
| | 37 | 10 | 27 | | 35 | 11 | 24 |
| | 35 | | | | 36 | 10 | 26 |
| | 34 | 12 | 22 | | 37 | 9 | 28 |
| | 33 | 13 | 20 | | 38 | 8 | 30 |
| | 32 | 14 | 18 | | 39 | 7 | 32 |
| | 33 | 13 | 20 | | 39 | 7 | 32 |
| | 35 | 11 | 24 | | 38 | 8 | 30 |
| | 36 | 10 | 26 | | 37 | 9 | 28 |
| Diciembre.... | 39 | 7 | 32 | | 36 | 9 | 27 |
| | 40 | 6 | 34 | | 35 | 10 | 25 |
| | 41 | 5 | 36 | | 34 | 12 | 22 |
| | 41 | 4 | 37 | | 34 | 12 | 22 |
| | 40 | 6 | 34 | | 35 | 12 | 23 |
| | 39 | 7 | 32 | | | 11 | |
| | 38 | 8 | 30 | | 36 | 10 | 26 |
| | 30 | | | | 38 | 8 | 30 |
| | 33 | 12 | 21 | | | | |

## II.

Para que éntre por los sentidos el resultado de los números anteriores, he formado las curvas de las primeras pleamares y bajamares en cada dia durante un año, segun puede verse en el diagrama que sigue. (*Lam.* 2.ª, *Diagrama.* 1.º)

La línea de las pleamares forma una especie de eme, cuyo ángulo interno se queda más alto que los trazos inicial *a* y final *b*.



Fig. 19.

Varias emes de esta clase, consecutivas, vienen á formar las undulaciones de la curva de las pleamares; y otra sucesion de undulaciones inversamente simétricas, forma la curva inferior de las bajamares.

Obsérvese que estos accidentes de una y otra línea se acentúan mucho ménos

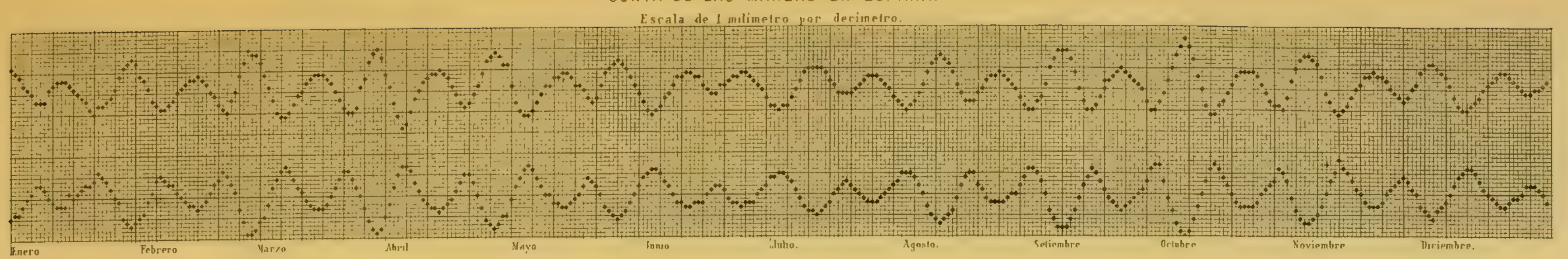



DIAGRAMA QUE REPRESENTA LAS VARIAS CLASES DE DIFERENCIAS DE NIVEL ENTRE UNA PLEAMAR Y UNA BAJAMAR CONSECUTIVAS DURANTE UN AÑO EN SANTANDER

1 6 1 7 7 14 1 9 1 13 1 3 20 1 2 3 1 36 3 17 2 2 4 28 3 1 16 1 2 3 15 1 2 7 14 4 2 6 1 8 2 6 6 2 7 4 5 7 10 1 1 4 2 1 1 1

Marea en Octubre de esta altura.

Mareas con esta difar.^{as} de niveles

4 metros

Linea de los 4 metros.

3 metros

2 metros

1 metro

Linea del metro

Linea del descenso máximo en Octubre de 1869 en Santander

en los solsticios que en los equinoccios; y en estos mucho más que en los restantes meses del año.

El diagrama evidencia, en fin, que hay dos clases de mareas vivas: unas más pronunciadas que otras:

El límite inferior de las más pronunciadas bajamares oscila en España entre 0 y 4 decímetros, y el límite superior correspondiente—el de las pleamares—oscila entre 42 y 47 decímetros.

El límite inferior de las mareas vivas ménos pronunciadas oscila entre 6 y 8 decímetros, y el correspondiente superior entre 38 y 40.

Estas dos clases de mareas vivas se confunden casi en los solsticios.

Como hay 2 clases de mareas vivas, hay tambien otras 2 clases de mareas muertas, cuyos límites determina el diagrama claramente.

Las diferencias mínimas ocurrieron en 1869 segun expresa el siguiente estado (en decímetros).

| | Altura de la pleamar | Altura de la bajamar. | Diferencia de niveles entre las alturas de la pleamar y su bajamar. | |
|---|---|---|---|---|
| Enero | 30 | 14 | 16 | |
| Febrero | 30 | 15 | 15 | |
| Marzo | 29 | 16 | 13 | |
| Abril | 26 | 17 | 9 | Mínimum. |
| Mayo | 29 | 17 | 12 | |
| Junio | 29 | 16 | 13 | |
| Julio | 30 | 15 | 15 | |
| Agosto | 30 | 16 | 14 | |
| Setiembre | 30 | 17 | 13 | |
| Octubre | 29 | 17 | 12 | |
| Noviembre | 29 | 18 | 11 | |
| Diciembre | 30 | 16 | 14 | |

Los desniveles máximos fueron en 1869 de la magnitudes que se anotan á continuacion, en decímetros.

| | Altura de la Pleamar. | Altura de la Bajamar. | Diferencia de niveles entre las alturas de la pleamar y de la su-bajamar. | |
|---|---|---|---|---|
| Enero | 43 | 3 | 40 | |
| Febrero | 45 | 1 | 44 | |
| Marzo | 45 | 1 | 44 | |
| Abril | 44 | 2 | 42 | |
| Mayo | 42 | 4 | 38 | |
| Junio | 39 | 7 | 32 | |
| Julio | 40 | 5 | 35 | |
| Agosto | 43 | 3 | 40 | |
| Setiembre | 44 | 2 | 42 | |
| Octubre | 47 | 0 | 47 | Máximum. |
| Noviembre | 43 | 3 | 40 | |
| Diciembre | 41 | 4 | 37 | |

III.

Como se ve, la diferencia de niveles menor es de 9 decímetros, y la mayor es de 47.

Pero esto ocurre una vez sola cada año.

Lo importante para el ingeniero es conocer el total de los desniveles iguales, y á ese fin responde el diagrama segundo de la *lámina* 2.ª

Para su estudio debe observarse que los desniveles pudieran ocurrir de 3 modos:

1.° Siendo siempre idéntico el nivel de las bajamares, y variando solo el de las pleamares.

2.° Vice-versa.

3.° Variando ambos niveles, es decir, ascendiendo el de las bajamares sobre la línea cero, y deprimiéndose el de las pleamares.

¿De cuál de estos 3 modos ocurre? Solo del último, como evidencia el diagrama primero de la *lámina* 2.ª

*Especificacion de las diferencias representadas en el diagrama 2.º de la lámina 2.ª*

| Diferencias de niveles. | Correspondientes á una pleamar de | Correspondientes á una bajamar de | En los meses de Enero... | Febrero.. | Marzo... | Abril... | Mayo... | Junio... | Julio... | Agosto... | Setiembre. | Octubre.. | Noviembre. | Diciembre. | TOTAL DE DIAS en que ocurre la diferencia de niveles. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 47dec | 47 | 0 | | | | | | | | | | 1 | | | 1 |
| 44 | 45 | 1 | | 1 | 1 | | | | | | | 2 | | | 4 |
| 43 | 44 | 1 | | 1 | | | | | | | | | | | 1 |
| 42 | 44 | 2 | | | 3 | 1 | | | | | 3 | | | | 7 |
| 40 | 43 | 3 | 1 | | | 2 | | | | 1 | | 1 | 2 | | 7 |
| | | | | | | | | | | | | | | | 20 dias en que la diferencia excede 4 metros. |
| 38 | 42 | 4 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | | | 2 | 2 | 1 | 2 | | 14 |
| 37 | 41 | 4 | | | | | | | | | | | | 1 | 1 |
| 36 | 41 | 5 | 2 | | | 2 | 2 | | | 1 | | | 1 | 1 | 9 |
| 35 | 40 | 5 | | | | | | | 1 | | | | | | 1 |
| 34 | 40 | 6 | 1 | | | 1 | 2 | | 3 | | 2 | 1 | 1 | 2 | 13 |
| 34 | 39 | 5 | | | 1 | | | | | | | | | | 1 |
| 33 | 39 | 6 | 1 | | | | | | | 1 | 1 | | | | 3 |
| 32 | 39 | 7 | | 2 | 3 | 4 | 3 | 3 | 2 | 1 | 2 | 4 | 1 | 4 | 29 |
| 32 | 38 | 6 | | 1 | | | | | | | | | | | 1 |
| 31 | 39 | 8 | | | | | | 1 | | 1 | | | | | 2 |
| 31 | 38 | 7 | | | 1 | | | | | | | | 2 | | 3 |
| 30 | 39 | 9 | 1 | | | | | | | | | | | | 1 |
| 30 | 38 | 8 | 3 | 3 | 2 | 2 | 4 | 6 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 4 | 36 |
| | | | | | | | | | | | | | | | 114 dias en que la diferencia pasa de 3m y no llega á 4m. |

20
114

*Total de dias en que la diferencia de niveles pasa de* 3m...... 134

| Diferencia de niveles. | CORRESPONDIENTES A pleamar de | bajamar de | MESES. Enero. . . | Febrero. . | Marzo. . . | Abril. . . | Mayo. . . | Junio. . . | Julio. . . | Agosto. . . | Setiembre. | Octubre. . | Noviembre. | Diciembre. | NUMERO DE DIAS en que ocurre la diferencia de niveles. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 29dec | 37 | 8 | 1 | | | | | 1 | 1 | | | | | | 3 |
| 28 | 37 | 9 | 1 | 1 | 1 | 2 | | 1 | 3 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 17 |
| 28 | 36 | 8 | | | 1 | | | 1 | | | | | | | 2 |
| 27 | 37 | 10 | | | 1 | | | | | | | | 1 | | 2 |
| 27 | 36 | 9 | | 1 | | | 1 | | | 1 | | | | 1 | 4 |
| 26 | 36 | 10 | 5 | 1 | 1 | 1 | 4 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 28 |
| 25 | 35 | 10 | | | | | | 1 | | 1 | | 1 | | | 3 |
| | | | | | | | | | | | | | | | 59 dias en que la diferencia pasa de 2m,5 y no llega á 3m. |
| 24 | 36 | 12 | | | | | | 1 | | | | | | | 1 |
| 24 | 35 | 11 | 2 | 3 | 1 | 1 | | | 2 | 1 | 2 | | 2 | 1 | 15 |
| 24 | 34 | 10 | | | | | | | | | | | 1 | | 1 |
| 23 | 35 | 12 | | | 1 | | 1 | | | | | | | | 2 |
| 23 | 34 | 11 | | | | 1 | | 1 | 1 | | | | | | 3 |
| 22 | 34 | 12 | 1 | | 1 | | 2 | 2 | 2 | 3 | | 1 | 1 | 2 | 15 |
| 22 | 33 | 11 | | 1 | | | | | | | | | | | 1 |
| 21 | 34 | 13 | | 1 | | | | | 1 | | | | | | 2 |
| 21 | 33 | 12 | 1 | | 1 | | 1 | 1 | 1 | 1 | | | | 1 | 7 |
| 20 | 33 | 13 | 3 | 2 | | 1 | | 1 | 1 | | 2 | | 3 | 1 | 14 |
| 20 | 32 | 12 | | | | 1 | 1 | | | | 1 | 1 | | | 4 |
| | | | | | | | | | | | | | | | 65 dias en que la diferencia pasa de 2m y no llega á 2,5. |
| 19 | 33 | 14 | | | 1 | | 1 | | | | | | | | 2 |
| 19 | 32 | 13 | 1 | | | 1 | 1 | | 1 | | 1 | | 1 | | 6 |
| 19 | 31 | 12 | | | 1 | | | | | | | | | | 1 |
| 18 | 32 | 14 | | 2 | 1 | | 1 | 1 | | 1 | | 1 | 1 | | 8 |
| 18 | 31 | 13 | 1 | | | | | | | | | 1 | | | 2 |
| 17 | 32 | 15 | 1 | | | 1 | | | | 2 | 1 | | | 1 | 6 |
| 17 | 31 | 14 | | | | | | | 3 | 1 | | 1 | | 1 | 6 |
| 16 | 32 | 16 | 1 | | | | | | | | | 1 | | | 2 |
| 16 | 31 | 15 | | 1 | | 1 | | 1 | 1 | 2 | | | 1 | | 7 |
| 16 | 30 | 14 | 1 | | 1 | | 1 | | | | 1 | | | | 4 |
| 15 | 31 | 16 | | 1 | 1 | | | | | | | 2 | | 1 | 5 |
| 15 | 30 | 15 | | 1 | | | | 1 | 1 | 1 | | 1 | 1 | 1 | 7 |
| | | | | | | | | | | | | | | | 56 dias en que la diferencia pasa de 1m,5 y no llega á 2m. |
| 14 | 30 | 16 | | | 2 | | 1 | 1 | | 1 | 3 | | 1 | 1 | 10 |
| 14 | 29 | 15 | | | | 1 | | | | | | | | | 1 |
| 13 | 30 | 17 | | | | | | | | | 1 | | | | 1 |
| 13 | 29 | 16 | | | 1 | | 1 | 1 | | | | 1 | | | 4 |
| 12 | 29 | 17 | | | | | 1 | | | | | 1 | | | 2 |
| 11 | 29 | 18 | | | | | | | | | | | 1 | | 1 |
| 10 | 27 | 17 | | | | 1 | | | | | | | | | 1 |
| 9 | 26 | 17 | | | | 1 | | | | | | | | | 1 |
| | | | | | | | | | | | | | | | 21 dias de ménos de 1m,5. |

*Resúmen de las diferencias.*

| | | |
|---|---|---|
| Hay en el año de $4^m$ en adelante.................. | | 20 mareas. |
| Hay de más de $3^m$............................ | 20<br>114 | 134 mareas. |
| Hay de más de $2\frac{1}{2}^m$........................... | 20<br>114<br>59 | 193 mareas. |
| Hay de más de $2^m$............................ | 20<br>114<br>59<br>65 | 258 mareas. |
| Hay de más de $1^m$,5........................... | 20<br>114<br>59<br>65<br>56 | 314 mareas. |
| Hay de más de 9 decímetros...................... | 20<br>114<br>59<br>65<br>56<br>21 | 335 |
| *Total de mareas de todas clases.....* | 335 | |

## IV.

Por via de amplificacion y comprobacion he formado los siguientes estados (1).

*Diferencias de desniveles máximos en Santander y Cádiz durante el año de 1870.*

| | SANTANDER. | | | CÁDIZ. | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Pleamar. | Bajamar. | Diferencia. | Pleamar. | Bajamar. | Diferencia. |
| Enero ..... | 41decim | 5decim | 36decim | 41decim | 5decim | 36decim |
| Febrero.... | 43 | 3 | 40 | 44 | 2 | 42 |
| Marzo..... | 45 | 1 | 44 | 45 | 1 | 44 |
| Abril...... | 45 | 1 | 44 | 45 | 1 | 44 |
| Mayo..... | 43 | 3 | 40 | 44 | 2 | 42 |
| Junio..... | 41 | 5 | 36 | 42 | 4 | 38 |
| Julio...... | 40 | 6 | 34 | 40 | 6 | 34 |
| Agosto.... | 43 | 3 | 40 | 43 | 3 | 40 |
| Setiembre.. | 45 | 1 | 44 | 45 | 1 | 44 |
| Octubre... | 45 | 1 | 44 | 45 | 1 | 44 |
| Noviembre. | 44 | 2 | 42 | 44 | 2 | 42 |
| Diciembre.. | 41 | 5 | 36 | 42 | 4 | 38 |
| | Promedio..... | | 40 | Promedio.... | | 40,7 |

*Diferencias de desniveles mínimos en Santander y Cádiz durante el año de 1870.*

| | SANTANDER. | | | CÁDIZ. | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Pleamar. | Bajamar. | Diferencia. | Pleamar. | Bajamar. | Diferencia. |
| Enero ..... | 30decim | 16decim | 14decim | 30decim | 16decim | 14decim |
| Febrero.... | 30 | 16 | 14 | 29 | 17 | 12 |
| Marzo..... | 29 | 16 | 13 | 29 | 16 | 13 |
| Abril...... | 30 | 16 | 14 | 29 | 17 | 12 |
| Mayo...... | 31 | 15 | 16 | 31 | 15 | 16 |
| Junio...... | 31 | 15 | 16 | 31 | 15 | 16 |
| Julio...... | 31 | 15 | 16 | 30 | 16 | 14 |
| Agosto.... | 30 | 16 | 14 | 29 | 17 | 12 |
| Setiembre.. | 29 | 17 | 12 | 28 | 18 | 10 |
| Octubre.... | 30 | 16 | 14 | 29 | 17 | 12 |
| Noviembre.. | 31 | 15 | 16 | 30 | 16 | 14 |
| Diciembre.. | 31 | 14 | 17 | 31 | 14 | 17 |
| | Promedio..... | | 14,6 | Promedio..... | | 13,5 |

(1) Estos datos están tomados del Almanaque para 1870 del citado Sr. FERREIRO.

*Diferencia término medio de desniveles en Santander y Cádiz durante el año de* 1870.

| | SANTANDER. | CÁDIZ. |
|---|---|---|
| Máxima diferencia de niveles, término medio anual. | $4^{m}$ | $4^{m},07$ |
| Mínima diferencia de niveles, término medio anual. | $1^{m},46$ | $1^{m},35$ |
| | $5^{m},46$ | $5^{m},42$ |
| Diferencia de niveles, término medio anual........ | $2^{m},73$ | $2^{m},71$ |

V.

Yo no sé que existan en las costas atlánticas de España localidades cuyas mareas presenten grandes divergencias con las que hemos estudiado, por lo cual me creo hasta cierto punto autorizado para la aproximada generalizacion siguiente (1):

$2^{m},73$
$2^{m},71$
$5^{m},44$

Diferencia de niveles, término medio anual en España............ $2^{m},72$
Y, mas en general........................................ $2^{m}$

Tengo además otros motivos.

La tabla de los «Establecimientos de puerto» en España, publicada por la Direccion de Hidrografía, *Anuario II*, contiene las diferencias de nivel en las sizigias y las cuadraturas, las cuales presentan, considerando el asunto muy en general, poca variacion desde el Norte al Mediodía.

Hé aquí la tabla.

(1) Claro es que hay que dejar á un lado las excepciones que se presentan en ciertas localidades, como en Algeciras, etc.

# TABLA

*de los establecimientos de los principales puertos y diferencias de nivel de las aguas en las sizigias y cuadraturas, referidas al nivel medio de las mareas bajas de sizigias.*

| LUGARES. | Horas, minutos. | ELEVACION EN PIES. | |
|---|---|---|---|
| | | En sizigias. | En cuadraturas. |
| Gibraltar | 1,47 | 4,4 | 1,4 |
| Algeciras | 1,49 | 4,3 | 1,4 |
| Tarifa | 1,46 | 6,4 | 1,4 |
| Cabo Plata | 1,45 | 8,6 | 2,8 |
| Conil | 1,18 | 12,9 | 3,6 |
| Sancti-Petri | 2,30 | 13 | |
| Cádiz, *puercas* | 1,23 | 15 | 10 |
| Cádiz, *bahía* | 2, | 17 | 12 |
| Cádiz puerta de los Diques, *arsenal* | 2,30 | 13,6 | |
| Rota | 1,24 | 13,7 | 3,9 |
| Salmedina, *bajo* | 1,27 | 13,6 | 3,9 |
| Chipiona | 1,30 | 13,6 | 3,9 |
| Sanlúcar, *barra* | 1,53 | 13,6 | 3,9 |
| Bonanza | 2, | 13,6 | 3,9 |
| Huelva | 2,06 | 15 | |
| Lagos | 2,07 | 14,2 | |
| Setúbal | 2,30 | 8,7 | |
| Lisboa, *barra* (1) | 2,30 | 17,5 | |
| Peniche | 1,54 | | |
| Mondego | 2,30 | 7,6 | |
| Oporto | 2,30 | 10,9 | |

(1) Segun estimables séries de observacion hechas por la Direccion de los Trabajos Geodésicos de Portugal acerca de las alturas de las mareas dentro del puerto de Lisboa, la máxima amplitud es de $4^m$ (máxima verdaderamente extraordinaria, por lo cual se calcula en $3^m$,90 la máxima probable). Fuera de la barra del Tajo, en Cascaes, la máxima amplitud es de 3,40 (máxima extraordinaria 3,45); en Paço d'Arcos 3,54. En el arsenal de Marina 3,90.

Las máximas amplitudes observadas en esta parte de Portugal son:

En el arsenal de marina (Lisboa)............. 4,30 (dudosa).
En la costa de Cascaes... 3,80
En la costa de Algarbe... 3,80
La media de las máximas amplitudes de 1874 á 1876 dan para Faro dentro del puerto (Algarbe). 3,50
Villa Real de Santo Antonio (id.)............. 3,19
En Oporto, y dentro de la falce del Duero, una série de observaciones dignas de confianza dan como máxima amplitud................. 3,80

| LUGARES. | Horas, minutos. | ELEVACION EN PIES. | |
|---|---|---|---|
| | | En sizigias. | En cuadraturas. |
| La Guardia | 3,14 | 14 | 12 |
| Bayona | 3,15 | 14 | 12 |
| Vigo | 3,15 | 14 | 8,5 |
| Aldan | 3 | 15 | 10 |
| Pontevedra | 3,20 | 12 | 8 |
| Marin | 3,20 | 12 | 8 |
| Rianjo | 2,20 | 15 | 9 |
| Carril | 2,20 | 15 | 9 |
| Villagarcía | 2,20 | 15 | 9 |
| Arosa | 2,20 | 15 | 9 |
| Santa Eugenia | 2,20 | 15 | 9 |
| Muros | 2,45 | 13 | 10 |
| Corcubion | 3 | 13 | 7 |
| Cabo Finisterre | 3 | | |
| Camariñas | 3,15 | 15 | 10 |
| Corme | 3,20 | | |
| Lage | 3,15 | | |
| Canal entre Lisarga y la costa | 3 | | |
| Malpica | 3 | 15 | 11 |
| Coruña | 3,30 | 14 | 10 |
| Playa de Arés | 2,30 | 12 | |
| Ferrol | 3 | 14 | 12 |
| Cedeira | 3 | 12 | 6 |
| Santa Marta | 3 | 12 | 9 |
| Sismundi | 2,30 | 12 | 9 |
| Barquero | 3,15 | 10 | 4 |
| Vivero, *barra* | 2,30 | 12 | 8 á 9 |
| San Cipriano | 3 | 11 | |
| Rivadeo | 3 | 14 | |
| Luarca | 3 | 14 | |
| San Estéban de Pravia, *barra* | 3 | 14 | 10 |
| San Estéban de Pravia, *poblacion* | 3,15 | 14 | 10 |
| Avilés, *barra* | 3 | 13 | |
| Avilés, *villa* | 4 | 13 | |
| Luanco | 3 | 14 | |
| Gijon | 3 | 14 | |
| Villaviciosa | 3 | 14 | 11 |
| Rivadesella | 3 | 13 | 6 |
| Niembro | 3 | 12 | |
| Llanes | 3 | 12 | |
| Deva | 3 | 11 | 6 |
| Tinamayor | 3 | 12 | |
| La Barquera | 3 | 13 | 6 |
| Comillas | 3 | 13 | 6 |
| Suances | 3 | 13 | 7 |

| LUGARES. | Horas, minutos. | ELEVACION EN PIES. | |
|---|---|---|---|
| | | En sizigias. | En cuadraturas. |
| Santander | 3 | 13 | 8 |
| Santoña | 3 | 13 | |
| Castro-Urdiales | 3 | 13 | |
| Somorrostro, *boca* | 3 | | |
| Portugalete | 2,45 | 13 | 8 |
| Plencia | 3 | 13 | 7 |
| Bermeo | 3 | 12 | |
| Mundaca, *barra* | 3 | 12 | |
| Lequeitio | 3 | 12 | 6 |
| Rio de Artigas ó de Ondarroa | 3 | 12 | 6 |
| Motrico | 3 | 11 | |
| Deva | 3 | 12 | |
| Zumaya | 3 | 12 | |
| Guetaria | 3 | 12 | |
| San Sebastian | 3 | 15 | 7 |
| Pasages | 3,20 | 15 | |

# CAPÍTULO II.

## PODER DÍNAMICO DE LA MAREA EN ESPAÑA.

### I.

La fuerza de las mareas se aprovecha hace siglos industrialmente en España, con especialidad en la provincia de Cádiz, á las inmediaciones de su bahía.

Pero, conocidos los adelantos de la hidráulica, el sistema allí seguido es de los ménos adecuados. Y, no obstante, cada molino produce una gran renta; porque, por malo que sea el aprovechamiento, nada cuesta la fuerza motriz del Océano (1).

Hé aquí, en resúmen, cómo proceden los dueños de los molinos.

Convierten en estanque una pequeña hondonada de las muchas que se encuentran en aquella localidad, producidas por la situacion de los fangos ó por otros accidentes del terreno, ó bien la socavan y disponen artificialmente. Destinada á estanque una hondonada, recibe el nombre de «caldera.»

Durante la creciente dejan entrar el agua marina en la «caldera:» la represan en cuanto empieza la menguante; y, cuando la marea ha bajado lo que consideran suficiente, dejan actuar el peso del agua sobre unas como turbinas, llamadas Rodetes, de industria primitiva, que no carecen de ingenio, relativamente.

Cuando por el gasto del agua del estanque y la subida del nuevo flujo, no hay desnivel bastante para el juego de los rodeznos, cesa todo trabajo, hasta que el flujo llena nuevamente la «caldera;» y, por el retroceso de las aguas, al otro reflujo, vuelve á haber desnivel adecuado para recomenzar la tarea.

El trabajo es, pues, intermitente: sólo se trabaja durante cuatro ó cinco horas de cada reflujo.

Y no es esto sólo: hay huelga absoluta durante los dias de mareas muertas.

En el Loira se ha seguido últimamente el mismo método respecto á la «caldera;» pero utilizando el peso del agua por medio de excelentes turbinas Fontaine de grandes dimensiones. El objeto ha sido aprovechar la fuerza de las

---

(1) Mi amigo y antiguo compañero en el Observatorio de Marina de San Fernando, señor D. ENRIQUE GARRIDO, ha tenido la bondad de escribir para esta obra una monografía (que se halla en el *Apéndice* de este libro) sobre la actual utilizacion de las mareas en la bahía de Cádiz.

mareas para achicar los diques. Como en Cádiz, los constructores Fontaine et Brault llenan un depósito durante la creciente; y, á la hora de empezada la inmediata bajamar cuando el agua exterior está más baja que la interior del depósito, mueven las turbinas con la presion del agua represada (1).

## II.

Sistema mejor que el adoptado en dichas localidades y otras varias es el propuesto por el Dr. KANE hace muchos años, al tratar de los recursos industriales de Irlanda.

1.° Destinar á estanque una ensenada ó anfractuosidad de la costa.

2.° Llenarlo de agua á la pleamar, y represar el agua.

3.° Aguardar á que baje el mar (por ejemplo, 2 piés), y entonces dejar obrar el agua sobre *turbinas* hasta el momento de la máxima bajamar; de tal modo, que el agua gastada por la maquinaria sea la conveniente, ni más ni ménos, para que permanezca constante el desnivel (de 2 piés).

4.° Vaciar entonces el agua remanente del estanque en un corto número de minutos, por medio de compuertas suplementarias, establecidas *ad hoc.*

5.° Incomunicar inmediatamente el estanque con el mar.

6.° Aguardar de nuevo á que la marea suba (2 piés) sobre el nivel del ya incomunicado estanque, y suministrar á la maquinaria el agua suficiente, ni más ni ménos, á que permanezca constante ese desnivel (de 2 piés).

7.° Dejar entonces obrar el agua del mar sobre las turbinas hasta el instante mismo de la pleamar.

8.° Abrir entonces las compuertas suplementarias, y acabar de llenar el estanque en cortísimo número de minutos.

Y, ya lleno otra vez el estanque, repetir las operaciones en el órden enumerado (2).

Este sistema posee la incomparable ventaja de regularizar la fuerza motriz: siempre nos será dado hacer que la presion sea igual á un peso de agua correspondiente á una altura pre-determinada (2 piés, por ejemplo). Las diferencias (sin cesar variables) entre los niveles de las pleamares respecto de los de las bajamares, no pueden ya presentar dificultad con receptores sumergidos (turbinas, por ejemplo). Unicamente habrá que aguardar unos dias más que otros, á fin de obtener, en todo caso, la altura de agua pre-determinada para el funcionamiento de los mecanismos (en las mareas muertas claro es que será

---

(1) Véase *Épuisement des formes de carenage: appareils hydrauliques utilisant la force des marées appliqués à Paimbœuf,* par MM. Fontaine et Brault, constructeurs à Chartres. Publication industrielle par Armengaud ainé; tome quinzième, 1864.

(2) Véase en el *Apéndice* la traduccion del pasaje del Dr. KANE.

menester esperar mucho más tiempo que en las mareas vivas, y en éstas ménos que en las intermedias).

El Dr. Kane, sin embargo, deja en su sistema un grandísimo vacío: no individualiza los medios de utilizar la inmensa cantidad de agua disponible en las mareas vivas, ni de obviar á la cicatera altura de las mareas muertas. Sin duda el genio y la inventiva del autor habrian sabido llenar tan gran vacío; pero es lo cierto que en su obra quedan sin llenar.

El sistema posee, además, otra ventaja: su extrema baratura respecto á los gastos de instalacion.

III.

El sistema de trabajo intermitente del Dr. Kane puede recibir una mejora importantísima, convirtiéndolo en sistema de trabajo contínuo la mayor parte del año, porque, además de la marea, debe utilizarse la poderosa accion del oleaje.

Y obsérvese que utilizar la accion de las olas es hacer esclavos de la industria los constantes movimientos de la atmósfera, apenas aprovechados hasta el dia en los molinos de viento.

IV.

Las olas (como las mareas y los demás motores irregulares) no deben utilizarse directamente, sino de un modo indirecto, almacenando su fuerza en un receptor elástico que luego la devuelva en su mayor posible integridad.

Las olas del Mediterráneo, así, pueden ser (y yo creo que algun dia lo serán) un preciosísimo recurso, si se emplean en comprimir aire, para luego llevar la fuerza en él almacenada donde su necesidad se haga sentir.

Posible es, pues, aislar de la fuerza de las mareas, la fuerza de las olas; lo cual nada debe tener de extraño, toda vez que las unas proceden de las atracciones de nuestros dos luminares combinadas entre sí y con la rotacion de la tierra, y las otras proceden de la fuerza de los vientos (que, en parte, dependen, á su vez, de las mismas causas), pero con más especialidad de la evaporacion de los Océanos y la rarefaccion del aire ocasionada por el calor solar.

V.

En las orillas del Atlántico podemos conjugar ambos orígenes de fuerza, y convertir en casi contínuo y tal vez en contínuo el sistema intermitente del Dr. Kane.

Sin entrar ahora en pormenores, voy á dar una idea general de esta utilizacion.

Ante todo se buscará una gran ensenada natural que no sea importante para la navegacion, y se destinará á recibir la cantidad de agua motriz que nos propongamos utilizar para obtener de un modo permanente é industrial grandes masas de aire comprimido. Con sillares de muchas toneladas de




Fig. 50.

peso, se construirá á la entrada un extenso y robusto malecon, cuya altura (en España) sea próximamente de 4 $^1/_2$ metros, donde batirá constantemente el mar.

Este malecon presentará grandes frentes á las olas, pero estará provisto de largos canales sin salida, imitacion en liliputiense escala de la llena de anfractuosidades excepcional bahía de Fundy.

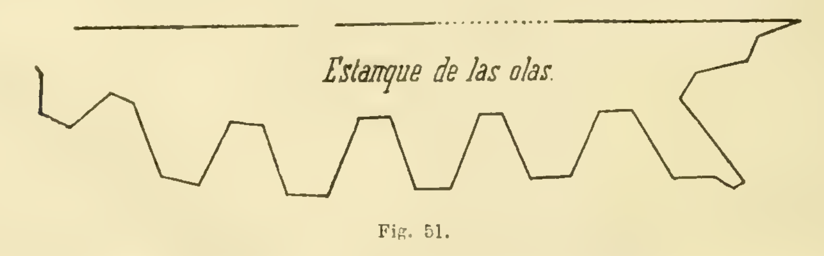



Fig. 51.

El agua de estas angosturas cuneiformes, atropellada por la enorme potencia de las olas, se elevará á más altura que ellas en virtud de la velocidad

adquirida, asaltará los malecones, y pasará por encima de ellos con la mayor facilidad (ó penetrarán de otro modo en el estanque, si se adoptan al efecto disposiciones adecuadas, de que mas adelante se hablará).

Tras este malecon lleno de angosturas se construirá otro, de una altura mayor, y entre los dos constituirán el estanque de las olas. Este segundo malecon cerrará por completo la ensenada.

Dentro de la ensenada se construirá una dársena, para establecer en ella con la seguridad debida los aparatos receptores de la fuerza motriz, que se describirán en lugar oportuno.

El Océano, por medio de un canal, comunicará con la dársena.

Pongamos, como ejemplo ideal, la disposicion siguiente:

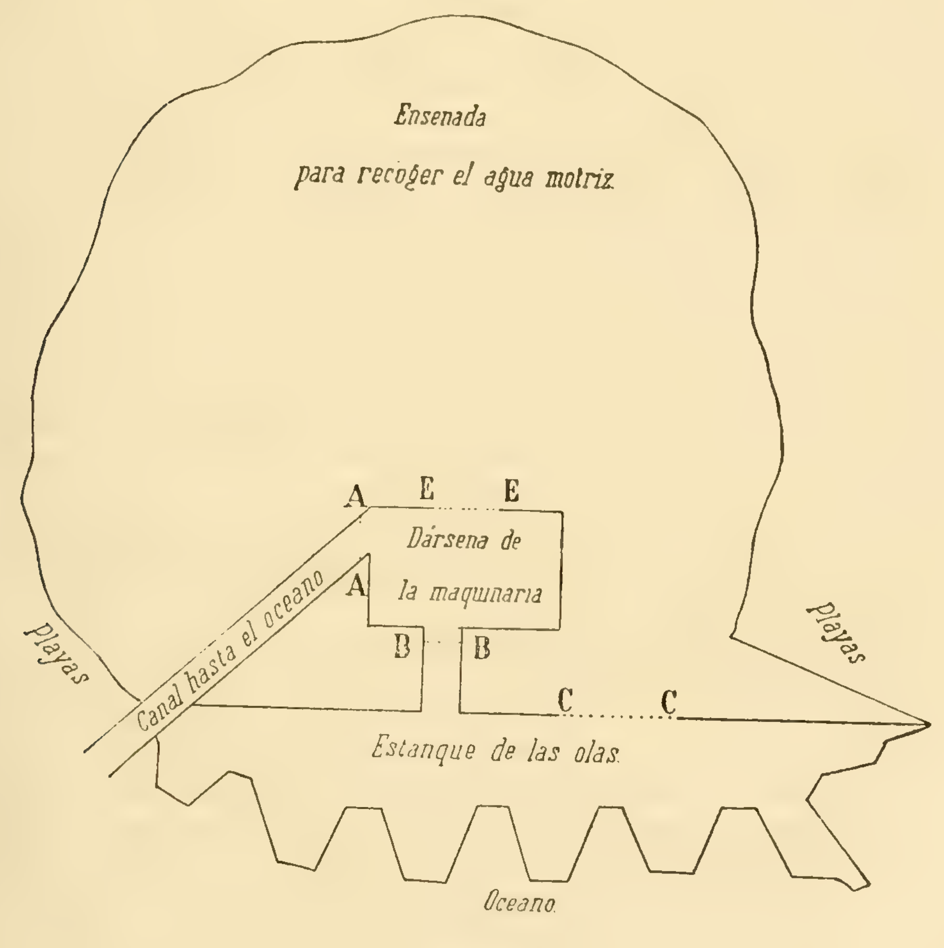



Fig. 52.

Examinemos ahora brevemente los casos que pueden ocurrir, reservando para más adelante su ampliacion.

Caso 1.° No hay oleaje.

Supongamos vacía la ensenada y vacío el estanque de las olas.

Aguardemos á que el Océano haya elevado 1m su nivel sobre el de la vacía ensenada.

Abramos entonces las compuertas en *AA*. El agua marina penetrará en la dársena; pondrá en accion los aparatos receptores existentes dentro de ella; y, despues, por la parte inferior en *EE*, y por adecuadas tuberías, saldrá de la dársena el agua, extendiéndose por la gran ensenada, desde donde pasará el flúido al estanque de las olas por las compuertas *CC*. Las compuertas *BB* estarán cerradas.

En los últimos momentos de la creciente se abrirá un gran número de compuertas suplementarias no indicadas en la figura, pero muy fáciles de concebir y se llenarán en el menor tiempo posible, tanto la ensenada como el estanque de las olas, hasta que el agua llegue á tener en estos grandes depósitos, juntamente con la dársena, el nivel mismo exterior del Océano. Y así terminará el período de la creciente, cuando no hay oleaje.

Al empezar la menguante, se cerrarán todas las compuertas comunicantes con el mar; cesará todo trabajo, y se aguardará hasta que la marea haya bajado 1m en el Océano y en el canal cerrado por las compuertas *AA*. En tal instante recomenzará la obra; se dejará entrar en la dársena el agua de la ensenada y del estanque por *EE* y *BB;* su presion de 1m moverá la maquinaria, y por debajo de las compuertas *AA*, volverá al Océano por el mismo canal por donde entró.

Al fin de la menguante, se dejará salir por las compuertas suplementarias, en el menor tiempo posible, toda el agua restante en la dársena, la ensenada y el estanque.

Y así sucesivamente.

Caso 2.° Hay oleaje.

Supongamos á las olas capaces de suministrar por sí solas toda el agua necesaria para mover la maquinaria.

El agua, pues, introducida por las olas está más alta en su estanque que el nivel medio del mar.

Se abren entonces las compuertas *BB;* se cierran las compuertas *CC* y *EE;* entra en la dársena el agua de las olas por *BB;* mueve la maquinaria, y vuelve al Océano por el canal *AA*.

El modo de funcionar es idéntico al que tendria lugar en un mar sin mareas, pero con olas, como el mar Mediterráneo.

Pero el problema no es tan sencillo como á primera vista aparece, porque, caso de haber oleaje, pueden ocurrir 3 sub-casos.

1.er sub-caso. El estanque de las olas suministra agua motriz bastante para

que la maquinaria establecida en la dársena trabaje constantemente y sin cesar bajo la presion de $1^m$ (ó bien otra presion industrial cualquiera).

2.° sub-caso. El estanque suministra más.

3.er sub-caso. El estanque suministra ménos.

En los dos primeros sub-casos podemos prescindir de las mareas, y nos encontramos á orillas del Océano, en las mismas circunstancias en que nos encontraríamos á orillas del Mediterráneo. El agua entra desde el estanque de las olas á la dársena por *BB*, mueve la maquinaria, y torna al Océano por el canal *AA*.

Pero en el sub-caso 3.°, cuando las olas no suministren agua bastante para tanta tarea, el estanque de las olas tendrá que reducirse al papel de auxiliar. En la última parte de la creciente, y cuando esté llena la ensenada por las compuertas suplementarias en brevísimo tiempo hasta la altura del Océano, el estanque de las olas cuyo nivel estará más alto, podrá mover las máquinas él solo, ó con sus aguas elevar por *CC* el nivel de la ensenada, distribuyéndose entre ambos depósitos el exceso del de las olas. Por tanto, en vez de aguardar $n$ minutos á la menguante inmediata, para obtener, por el descenso del Océano, el peso predeterminado de $1^m$, habrá que aguardar bastante ménos para empezar el trabajo en proporcion y razon directa de lo que las olas hubiesen elevado el (en este caso) comun nivel de ambos recipientes (ensenada y estanque).

Lo análogo debe imaginarse del tiempo de espera despues de terminado el reflujo é iniciado el flujo subsiguiente.

Y hé aquí cómo en los dias de las mareas muertas (cuando la diferencia entre el flujo y el reflujo se reduce en las costas atlánticas de España á poco más de $1^m$) habrá, por efecto del oleaje—siempre que la mar esté picada—una diferencia de niveles mucho mayor; diferencia que acaso llegue, aun en tiempos no borrascosos, á llenar por completo el estanque de las olas antes de las últimas horas de la pleamar; y diferencia, que de seguro excederá casi siempre la máxima altura de la creciente, y que subsistirá más ó ménos tiempo despues de iniciada la menguante.

Por de contado que en los dias de mar picada los resultados serán sobre manera favorables para aumentar y sostener el máximo nivel de la marea.

¡Ventaja inapreciable!

Aprovechando el movimiento de las olas, bien podremos decir que no habrá, en lo general, mareas muertas, ó se compensará su escasez. Las borrascas, que hoy nos aterran, contribuirán al bienestar del hombre, puesto que, por medio de las olas, recogeremos la fuerza de los vientos.

## VI.

No es fácil formarse bien una idea de la fuerza de las mareas y las olas, hasta que, con la pluma en la mano, se hacen cálculos al efecto. Entonces se

pasma uno de admiracion al ver la fuerza inmensa que deja perder la Humanidad, y cobra alientos el ánimo para ver si es posible entregar á la civilizacion tan colosal potencia.

Quisiera tener datos bastantes para calcular «con exactitud» la fuerza de las olas; pero, por más diligencias que he practicado, no he conseguido reunir los suficientes.

Respecto del poder de las mareas, sí puedo hacer cómputos fundados, con solo utilizar los datos anteriores.

## VII.

Tomo por módulo y punto de partida una ensenada de 7200 metros cuadrados, de la cual salga para mover la maquinaria 1 metro cúbico de agua por segundo de tiempo, ejerciendo la presion correspondiente á 1 metro de altura.

El nivel de esta ensenada bajará con semejante condicion $^1/_2$ metro por hora.

En efecto:

Una hora tiene 3600 segundos;

Y, si del depósito de $7200^{m^2}$ han salido $3600^{m.3}$, claro es que el nivel habrá bajado $^1/_2{}^m$.

Si el agua del estanque baja $^1/_2{}^m$ por hora, y el nivel del Océano ha de bajar igualmente $^1/_2{}^m$ por hora, á fin de obtener siempre el mismo desnivel motor, deberemos aguardar á aquellos dias en que las mareas suben $3^m$ (1).

Examinemos este caso especial, y él nos servirá de guia para el exámen de los demás.

Supongo, pues,

Un estanque de $7200^{m^2}$ y de una altura suficiente. Este estanque puede dejar salir $1^{m.3}$ por segundo, rebajando sólo $^1/_2{}^m$ su nivel cada hora.

Supongo además:

1.° Que la maquinaria consume $1^{m^3}$ de agua por segundo cuando la marea es de $3^m$,

2.° Que la maquinaria funciona bajo la presion de $1^m$ de altura.

Analicemos:

Para que la marea baje $3^m$ en $6^h$, preciso es que baje $0^m,50$ por hora.

Y, para que los aparatos trabajen con la presion de $1^m$, preciso es que á la pleamar se haya llenado la ensenada, y que dejemos transcurrir las dos prime-

---

(1) Por via de brevedad, supondremos que la creciente invierte seis horas justas, y otras tantas la menguante (lo que no es exacto). Pero el error no es grande, por estacionarse como media hora la pleamar.

ras horas de la vaciante á fin de que el agua de la ensenada esté $1^{m}$ más alta que el agua del Océano. (Supongo que no existe el oleaje.)

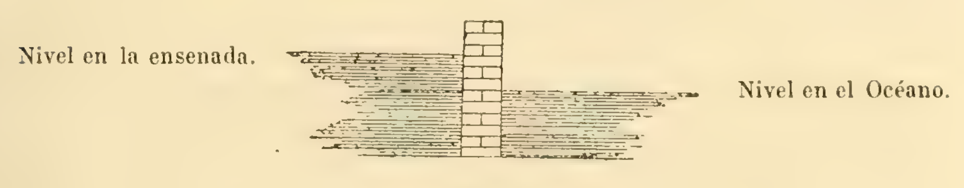



Fig. 53.

Dadas estas condiciones, si la ensenada gasta en mover los mecanismos receptores de la fuerza motriz $1^{m^3}$ por segundo, la diferencia de niveles entre la ensenada y el Océano permanecerá constantemente igual á $1^{m}$, puesto que la ensenada y el mar bajarán $^1/_2{}^{m}$ por hora.

Y la ensenada producirá el mismo trabajo teórico durante 4 horas que una máquina de 13,3 caballos-vapor en igual tiempo; porque

$1^{m^3}$ de agua (1), cayendo de $1^{m}$ de altura cada segundo, produce un trabajo

$$\frac{1^{m} \times 1000^{k} \times 1''}{75^{k}} = 13^{cab},3$$

Analicemos otro caso.

Supongamos ahora una marea de $2^{m},5$.

Queremos tambien trabajar con la presion de $1^{m}$ de agua.

La marea baja cada hora $\frac{250^{c}}{6} = 41^{c},66$.

Despues de llena la ensenada, habrá que aguardar 2,4 para que se establezca entre su nivel y el del mar una diferencia de $1^{m}$.

Quedarán de trabajo útil otras 3,6.

En estas $3^{h},6$ se repartirá el trabajo que pueda realizar el agua de la ensenada, siempre que de ella salga la cantidad de agua necesaria, ni más ni ménos, para que su nivel esté siempre $1^{m}$ más alto que el del Océano.

Si en $3^{h},6$ baja el mar metro y medio,

$$2^{m},5 - 1^{m} = 1^{m},5,$$

en cada hora deberá deprimirse la ensenada sólo

$$41^{c},66$$

(1) El resultado de $13^{cab},3$ es menor teóricamente del que debe resultar, porque $1^{m^3}$ de agua marina pesa $1026^{k}$, y no 1000 como se ha puesto en el numerador.

Ahora bien: cada metro cúbico puede considerarse como formado por 100 tongas de $1^c$ de altura y $1^{m^2}$ de base.

Cada tonga de éstas tiene, pues,

$$10000^{c^3} = 10^{\text{litros}};$$

si el agua de la ensenada tuviese sólo $1^c$ de altura, contendria

$$7200^{\text{tongas}} = 72000^{\text{litros}} = 72^{\text{toneladas}}.$$

Si la ensenada, pues, en las $3^h,6$ útiles se deprime $41^c,66$ por hora, claro es que el líquido gastado en cada hora constituirá un volúmen igual á

$$72^{\text{ton}} \times 41^c 66 = 2999^{\text{ton}},52.$$

Ahora bien: $2999^{\text{ton}},52$, cayendo de la altura de $1^m$ en una hora, son

$$\frac{2999^{\text{ton}},52}{3600^{\text{seg}} \times 75^k} = 11^{\text{cab}},11, \text{ trabajando durante } 3^h \frac{6}{10}.$$

Con el método de estos cálculos está hecho el Estado adjunto.

Las contínuas desigualdades de la fuerza motriz de las mareas quedan así elegante é ingeniosamente convertidas en desigualdades de los tiempos de espera. Tan irregularísimo motor se convierte en regular á costa de irregularidades en las intermitencias del trabajo.

Huelgas no periódicas de los mecanismos compensan, pues, con toda perfeccion la inevitable irregularidad de la fuerza motriz del Océano (ó más propiamente dicho, de las atracciones del sol y de la luna).

Así, pues, el sistema consiste en dos ideas principales.

1.ª Aguardar á que haya entre la ensenada y el Océano (ó vice-versa) un desnivel de 1 metro (medio de convertir las desigualdades de alturas en desigualdades de huelga, y trabajar siempre con la misma presion hidráulica).

2.ª Suministrar á la maquinaria sólo el líquido necesario (ni más ni ménos) á mantener esa predeterminada presion de agua marina.

## VIII.

Las mareas no deben aprovecharse en altura sino en extension: siempre nos será posible duplicar, triplicar..... centuplicar el gasto del agua; pero de ningun modo nos será dado decuplar..... centuplicar la altura del flujo. Esta tiene su límite natural: el consumo de agua, no.

Por esto, para ensenadas ó «calderas» debemos buscar anfractuosidades del litoral, caletas ó brazos de mar de grandísima extension, pero que, por su exposicion á los vientos, ó lo somero de sus aguas ú otros muchos accidentes, no sirvan para abrigo de las embarcaciones, ni otras necesidades de la navegacion ó de la pesca, ni interrumpan ó inutilicen las demás industrias del mar. ¡Y en España abundan tanto!

*Fuerza en caballos-vapor que representa una ensenada de 7.200$^{m^2}$ si la maquinaria funciona constantemente bajo la presion de 1$^{m}$ de altura.*

| Altura de la pleamar sobre la bajamar. | Baja la marea cada hora. | Hay que aguardar para que haya 1 metro de presion. | Resta de tiempo para el trabajo útil. | Resta de agua aprovechable para el trabajo de la maquinaria á una altura de | Depresion de la ensenada en cada hora útil que resta para el trabajo. | Litros de agua que supone esta depresion á razon de 10 litros por tonga de 1 centímetro de altura por metro cuadrado. | Caballos-vapor que representan estos litros caidas cada hora de 1 metro de altura durante el tiempo útil de trabajo. | Caballos-vapor que harian el mismo trabajo en 6 horas de accion constante. | Número de dias que la marea alcanza la diferencia de niveles marcados en la 1.ª columna. | Producto del número de caballos por el de los dias que les corresponden. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $150^c$ | $\frac{150}{6} = 25^c$ | $\frac{100^c}{25} = 4^h$ | $6^h - 4 = 2^h$ | $50^c$ | $\frac{50^c}{2^h} = 25^c$ | $25^c \times 72000^l = 1800000^l$ | $\frac{1800000^l}{3600'' \times 75^k} = 6^{cab},666$ (durante $2^h$) | $\frac{6^{cab},66 \times 2^h}{6^h} = 2^{cab},222$ | $25^d$ | $55^{cab},5$ |
| 200 | $\frac{200}{6} = 33^c,33$ | $\frac{100^c}{33,3} = 3^h$ | $6^h - 3 = 3^h$ | $100^c$ | $\frac{100^c}{3^h} = 33^c,3$ | $33^c,3 \times 72000^l = 2397600^l$ | $\frac{2397600^l}{270000} = 8^{cab},88$ (durante $3^h$) | $\frac{8^{cab},88 \times 3^h}{6^h} = 4^{cab},44$ | $58^d$ | $257^{cab},5$ |
| 250 | $\frac{250}{6} = 41^c,66$ | $\frac{100^c}{41,6} = 2^h,4$ | $6^h - 2,4 = 3^h,6$ | $150^c$ | $\frac{150^c}{3^h,6} = 41^c,66$ | $41^c,66 \times 72000^l = 2999520^l$ | $\frac{2999520^l}{270000}$ $11^{cab},11$ (durante $3^h,6$) | $\frac{11^{cab},11 \times 3^h,6}{6^h} = 6^{cab},666$ | $69^d$ | $459^{cab},9$ |
| 300 | $\frac{300}{6} = 50^c$ | $\frac{100^c}{50} = 2^h$ | $6^h - 2 - 4^h$ | $200^c$ | $\frac{200^c}{4^h} = 50^c$ | $50^c \times 72000^l = 3600000^l$ | $\frac{3600000^l}{270000} = 13^{cab},33$ (durante $4^h$) | $\frac{13^{cab},33 \times 4^h}{6^h} = 8^{cab},888$ | $70^d$ | $622^{cab},2$ |
| 350 | $\frac{350}{6} = 58^c,33$ | $\frac{100^c}{58,3} = 1^h,7$ | $6^h - 1,7 = 4^h,3$ | $250^c$ | $\frac{250^c}{4^h,3} = 58^c,14$ | $58^c,14 \times 72000^l = 4186080^l$ | $\frac{4186080^l}{270000} = 15^{cab},5$ (durante $4^h,3$) | $\frac{15^{cab},5 \times 4^h,3}{6^h} = 11^{cab},11$ | $58^d$ | $644^{cab},4$ |
| 400 | $\frac{400}{6} = 66^c,66$ | $\frac{100^c}{66,6} - 1^h,5$ | $6^h - 1,5 - 4^h,5$ | $300^c$ | $\frac{300^c}{4^h,5} = 66^c,66$ | $66^c,66 \times 72000^l = 4799520^l$ | $\frac{4799520^l}{270000} = 17^{cab},77$ (durante $4^h,5$) | $\frac{17^{cab},77 \times 4^h,5}{6^h} = 13^{cab},33$ | $34^d$ | $453^{cab},3$ |
| | | | | | | | | | 314 lunaciones | $2492^{cab},8$ |

*Término medio de caballos-vapor*..... $\frac{2492,8}{314} = 7^{cab},9$

Agregando la accion del oleaje, bien podemos pensar que 7200$^{m^2}$ representan con exceso..... $10^{cab}$



En virtud de los cálculos anteriores, podemos contar con que cada 7200$^{m^2}$ de ensenada representan, cuando ménos, la enorme fuerza de 10 caballos-vapor, trabajando grátis dia y noche sin cesar.

## IX.

Cádiz es una localidad admirablemente dispuesta por su configuracion geológica para la utilizacion de la FUERZA DEL MAR.

Hay una ensenada inútil para las necesidades del comercio, comprendida entre el castillo de Puntales, Punta Laclica, canal de Ureña, rio Arillo y el camino de Cádiz á la torre de Hércules (Torregorda), de la cual ensenada es un croquis la figura siguiente:

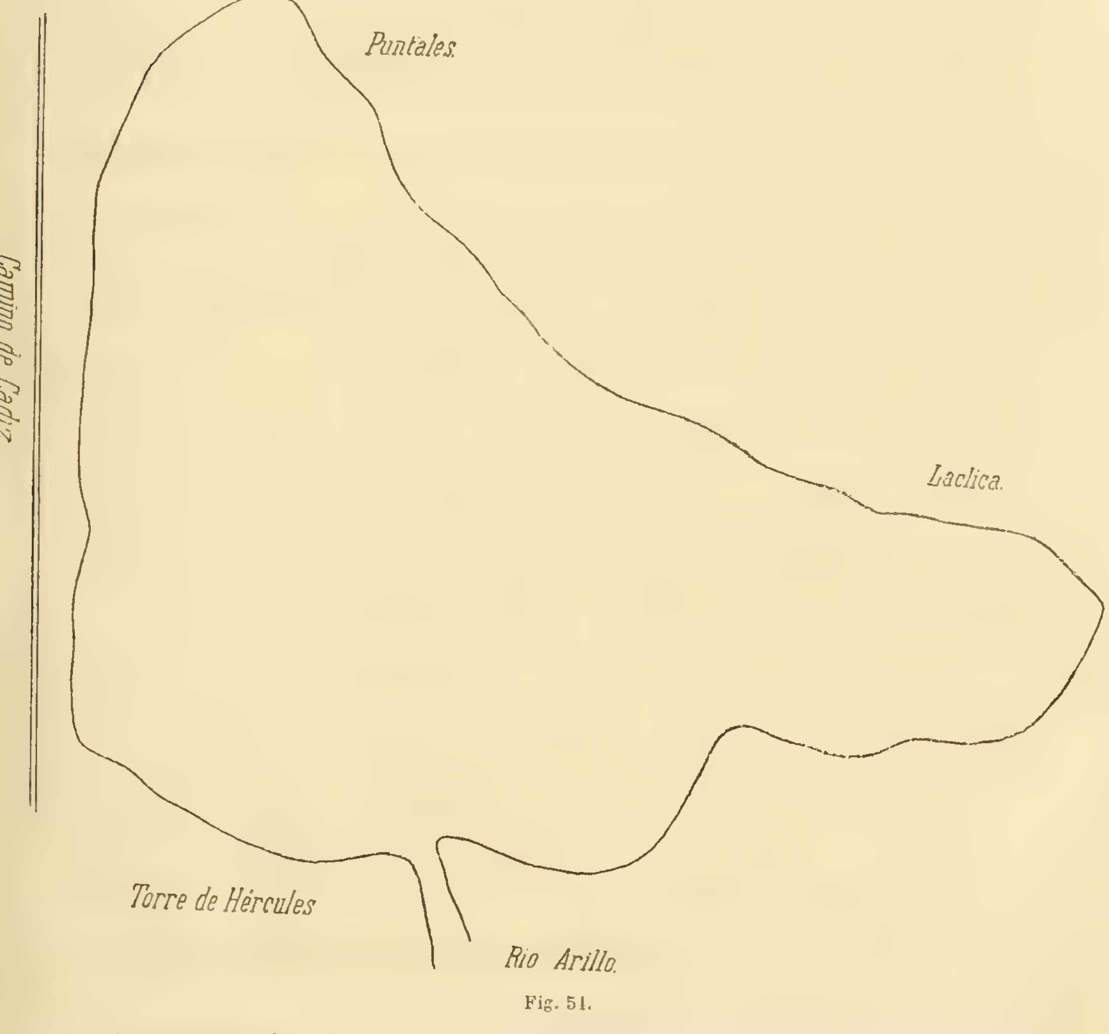



Fig. 51.

Esta ensenada mide más de 15000000 de metros cuadrados, y representa por consiguiente una fuerza colosal ¡hoy perdida!

El estanque de las olas puede establecerse al Occidente del camino de Cádiz, construyendo el correspondiente anfractuoso malecon dentro del Océano sobre las rocas que se extienden desde el castillo de la Cortadura hasta más allá de Torregorda.

La utilizacion dinámica de esta ensenada sería obra de insignificante costo, comparado con sus naturales rendimientos. En carbon gastaria anualmente una maquinaria de igual potencia más de lo que costaria hacer las obras hidráulicas.

Hé aquí el cálculo de la potencia residente en esta hoy inútil ensenada, ¡llena dos veces, y otras dos veces vacia, en el transcurso de 24 horas!

*Ensenada entre Puntales, Laclica y Torregorda (bahía de Cádiz).*

Suponiendo (para acomodar los cálculos al módulo de $7200^{m^2}$) que la ensenada tenga solamente $14400000^{m^2}$, resultará:

| Altura de la pleamar sobre la bajamar. | Caballos vapor trabajando sin intermitencias $24^h$ seguidas. | Número de dias en que la marea alcanza el desnivel de la 1.ª columna. | Producto del número de caballos por el de los dias que les corresponden. | Término medio de caballos que representa esta ensenada. |
|---|---|---|---|---|
| $150^c$ | $4444^{cab}$ | 25 | 111100 | |
| $200^c$ | $8888^{cab}$ | 58 | 515504 | |
| $250^c$ | $13333^{cab}$ | 69 | 919977 | |
| $300^c$ | $17777^{cab}$ | 70 | 1244390 | |
| $350^c$ | $22222^{cab}$ | 58 | 1288876 | |
| $400^c$ | $26666^{cab}$ | 34 | 906644 | |
| | | 314 lunaciones | 4986491 | |
| *Término-medio de caballos-vapor.....* | | | | $\frac{4986491}{314} = 15880^{cab}$ |

Agregando la accion del oleaje, podríamos contar con 20000 caballos-vapor, trabajando dia y noche sin cesar. } $20000^{cab}$

¡15.880 caballos-vapor trabajando dia y noche sin cesar!

¡Máquina eterna que, por los dias de mar picada, desarrollaria la potencia gratuita de 20000 caballos!

¡Máquina que, una vez construida, no exigiria apenas costo alguno!

¡20000 caballos-vapor trabajando gratis durante una generacion y otra generacion!

¡Hé aquí un átomo de las fuerzas de la luna y del sol combinadas con la de nuestra rotacion terrestre!

Y ¡esto está perdido! ¡Y la mayor parte de los séres humanos viven en la abyeccion y la miseria por falta de fuerzas productivas! ¡Por falta de artefactos producidos!!

¡Cualquier conjunto de máquinas de vapor capaz de desarrollar la fuerza de 20000 caballos, trabajando sin descansar 24 horas seguidas, costaria en España (1), comprando el carbon á los precios de Inglaterra, un millon de duros anuales! No costarian tanto los malecones que cerrasen la ensenada. Y, una vez hechos con sillares de gran mole, pasarian sin deterioro de generacion en generacion.

El sitio llamado La Caleta, comprendido entre los castillos de Santa Catalina y San Sebastian (antigua naumaquia romana) es utilizable con poquísimo costo, y representa una potencia de muchos centenares de caballos-vapor.

Pero el brazo de mar llamado Sancti-Petri está pidiendo materialmente utilizacion.

El malecon rompe-olas está casi formado naturalmente por las rocas sobre que se levanta el castillo Sancti-Petri y el arrecife Levante: la dársena tiene emplazamiento natural antes de llegar al cerro de los Mártires en 10 metros de fondo, y el canal entero puede recoger la fuerza del Océano hasta el arsenal de la Carraca, cuyas máquinas se moverian por aire comprimido en vez de moverse por carbon, y cuyos fangos (que amenazan inutilizarlo) serían removidos (2) por la misma fuerza del mar que hoy los acarrea.

Este canal representa, con un gasto insignificante (y un parroquiano seguro en el arsenal) la enorme fuerza de 6000 caballos vapor trabajando sin cesar.

---

(1) Suponiendo que las máquinas gasten $1^{k}$ de carbon por hora y por caballo, y que la tonelada cueste 1 libra esterlina, tendríamos

$$20000^{cab} \times 24^{k} = 480000^{k} \text{ por dia.}$$
$$480^{ton} \times 365 = 175200^{ton} \text{ por año.}$$
$$175200^{ton} \times 100 \text{ rs.} = 17520000$$

(2) Utilizando el sistema con el cual se han removido las barras del inmenso Mississipí. La barra tenía 7,2 pies hace 4 años: hoy tiene 27,2.

Solo la corriente, científicamente dirijida, ha efectuado esta obra colosal, y sin precedente ninguno en tal escala. Dirigiendo siempre la corriente del Sancti-Petri en un solo sentido, desde el castillo hacia el arsenal y la bahía, la limpia de los caños sería cosa facilísima é incuestionable.

La imaginacion hace ver en las regiones de la posibilidad, hechos que, antes de realizarse, ó que acaso nunca se realicen, parecen visiones de un delirante ó sueños de un calenturiento.

Desde el banco de «Hazte-afuera» hasta el castillo de San Sebastian hay, paralelos á tierra en el litoral gaditano, y casi en línea recta, una série de arrecifes y bancos que, unidos por malecones levantados por el mismo aire comprimido de las represas anteriores, podrían recoger del Océano en el transcurso de una generacion la potencia fabulosa de 500000 caballos-vapor.

¿Imposible? ¡Ah! No. Tal vez paradójico, pero imposible, nunca.

No solamente estos depósitos (verdaderamente colosales, pero cuya mano de obra pudiera irse encomendando á las mareas de un cuarto de siglo, con solo darles científica direccion), podrian constituir unos receptores inmensos de fuerza, cuya utilizacion convertiria á Cádiz instantáneamente en un emporio de industria y de comercio (sin rival por el pronto, puesto que la fuerza casi nada costaria), sino que tambien servirian de viveros inagotables de ostras y de peces exquisitos, capaces de suministrar alimento rico y delicado á toda la comarca, y constituir un abundante venero de segura exportacion.

¿Son éstas, ilusiones?

No.

Yo no lo veré, pero ya lo he visto.

Cádiz es una mina de fuerza grátis, y el carbon cuesta muy caro.

Lo que veo en mi interior será algun dia realidad.

## X.

Y ¿por qué he de limitarme á Cádiz?..... Donde quiera que las anfractuosidades de las costas atlánticas de España y Portugal determinen una ensenada sin empleo en las industrias marítimas, allí pueden aprovecharse los desniveles sucesivos de las mareas, almacenando en aire comprimido la—hoy enteramente perdida para el mundo—fuerza motriz del Océano.

Y..... ¿por qué el amor pátrio ha de encariñarme exclusivamente con la Península Ibérica? ¡Pues qué! ¿No existen anfractuosidades en las costas de todos los Océanos? ¿No hay afortunadísimos países donde las mareas se elevan mucho, como en Saint-Maló? ¿En el canal de Bristol? ¿En rio Gallegos de la Patagonia? ¿Cuál competirá en facilidades de localidad y en altura de mareas con el laberinto de islas y recodos de la bahía de Fundy?

# APÉNDICES AL LIBRO II.

## I.

### FINAL DEL CAPÍTULO III DE LA OBRA DEL DR. ROBERT KANE TITULADA «THE INDUSTRIAL RESOURCES OF IRELAND.»

Hasta aquí me he detenido en enumerar los recursos y aplicaciones del agua de las lluvias; pero ellos están muy lejos de constituir el único orígen de industria mecánica que del agua puede proceder. Queda por considerar otro de la mayor importancia.

De las observaciones hechas hasta el dia, aparece que alrededor de las costas de Irlanda sube la marea á una altura que puede estimarse en 12 piés, término medio.

Nuestras mareas son el resultado de la accion de las vastas masas de agua que, levantadas sobre su natural nivel, y luego deprimidas bajo el mismo por las atracciones del sol y de la luna, impelen, al ganar su propia posicion en los mares estrechos y en los canales semejantes á los nuestros, enormes cantidades de agua, ó las retiran de ellos, formando verdaderas corrientes como la de los rios, aprovechables, por tanto, para producir efectos mecánicos. De aquí que el movimiento de las mareas constituya una gran fuente de fuerza motriz, y que los molinos de marea formen una importante variedad de los molinos de agua. En Inglaterra se usan poco, pero entre nosotros los irlandeses, convenientemente aplicados, pueden constituir una base importante de empresas industriales. Y para que se comprenda, cual es debido, todo el partido que puede sacarse de las mareas, ya que tan escasamente se habla de ellas en los tratados de mecánica, voy á entrar, respecto á su aplicacion, en más pormenores de lo que, á no ser así, yo consideraria necesario.

Concibamos un depósito á la orilla de mar y en comunicacion con el mismo por medio de un angosto canal: imaginémoslo sin agua á la bajamar, y tendremos lo necesario para la utilizacion de la fuerza motriz. Si el canal tiene una compuerta, y aguardamos á que la marea suba un poco, 2 piés por ejemplo; si entonces abrimos la compuerta, y dejamos entrar el agua del mar en tal cantidad que el líquido en el depósito vaya subiendo lo mismo que siga subiendo el Océano, tendremos, durante todo el resto del período de la subida, una corriente en el canal con un peso de agua igual á 2 piés. Llénese rápidamente á la pleamar el depósito hasta que adquiera el mismo nivel que el Océano. Ciérrese la compuerta, y permanezca cerrada hasta que la marea baje 2 piés. Abrase entonces, y el agua del depósito tornará por el canal al Océano con el peso de 2 piés hasta que llegue el momento de la bajamar: vacíese entonces rápidamente el resto de agua que aún reste en el depósito, y quedará listo para repetir la operacion á la inmediata creciente.

Analicemos ahora lo que pasa con respecto al tiempo.

Podemos considerar y admitir que la creciente y la menguante duran 12 horas y 20 minutos; y, como *la pleamar, término-medio*, sube y baja 12 piés en ese tiempo, el movimiento-medio de la marea es, en ascension (ó descenso) igual á 1 pié en 31 minutos. Podemos, sin sensible error, calcular media hora por pié. A la bajamar, cerramos la compuerta

despues de haber vaciado el depósito por completo; y debemos tenerla cerrada durante una hora, para que la creciente suba los 2 piés con cuya presion queremos trabajar. Si entonces abrimos la compuerta, el agua estará entrando en el estanque durante 5 horas hasta el instante mismo de la pleamar. Lleno entonces el estanque por completo—para lo cual bastarán 10 minutos, habiendo á este exclusivo fin suficiente número de compuertas adicionales—el canal deberá hallarse cerrado durante otra hora, hasta que la menguante haya bajado 2 piés. Abierta entonces la compuerta, el agua estará saliendo del depósito durante otras 5 horas, hasta el instante de la bajamar, en que vaciaremos por completo el depósito en otros 10 minutos, haciendo uso al efecto de las compuertas adicionales.

Tendremos así, durante 5 horas en la creciente y otras 5 horas en la vaciante, una corriente de 2 piés de carga; esto es, 20 horas en cada 24. Calculemos, pues, la potencia teórica de esta corriente.

Tomaremos á este fin como módulo el área de un acre. A la pleamar el agua del depósito tendrá la misma altura que la marea media, es decir, 12 piés. Pero de éstos, debemos suponer que no se utilizaron mecánicamente los 2 piés que entraron en los 10 últimos minutos. El agua del depósito utilizable como potencia es, por tanto, de 10 piés solamente. El acre contiene, por consiguiente, 435600 piés cúbicos de agua. Esta cantidad entra 2 veces, y sale otras 2, en cada 24 horas; lo que significa que en 24 horas hay aprovechables mecánicamente 48400 toneladas de agua cayendo de la altura de 2 piés. Ahora bien: 884 toneladas, cayendo 24 piés en 24 horas, es un caballo dinámico; de donde resulta que la potencia teórica de la marea, utilizada con un peso de 2 piés, es cuatro caballos y medio por cada acre de estanque. 10 acres de depósito darán una potencia teórica de 45 caballos durante 20 horas de cada 24.

Ahora: si esto sucediese como en un rio cualquiera, nada más sencillo que la instalacion de una rueda de paletas *(undershot wheel, roue hydraulique en dessous)*, la cual, aprovechando $^1/_3$ de la potencia teórica, daria caballo y medio por cada acre de estanque. Pero desde luego se echan de ver dos circunstancias que hacen más complicada la construccion de los molinos de marea y más difícil su aplicacion. Por de pronto, la corriente de la marea cambia de direccion cada 6 horas: á la creciente y á la menguante. Esto verdaderamente se obviaría con aquellas invenciones mecánicas de varias y sencillas clases, por cuyo medio puede cambiarse la direccion de la corriente, de modo que permanezca sin alteracion el sentido del movimiento transmitido á la maquinaria. Esta no es, pues, una dificultad, por más que haga necesaria la introduccion de organismos adicionales. La verdadera dificultad consiste en que el nivel del agua procedente de la marea está cambiando sin cesar á razon de 2 piés por hora; y, por consiguiente, la máquina, capaz de funcionar á marea baja, estará completamente sumergida á marea alta; mayormente, si, en vez de los 12 piés, que hemos adoptado como término medio de la altura de las mareas, tenemos que habérnoslas con las mareas vivas, que en nuestras costas de Irlanda alcanzan la altura de 18 piés.

Tal es la grandísima dificultad que se encuentra el ingeniero para manejar la marea, la cual regularmente se vencia hasta aquí por uno de los dos medios siguientes.

El primero consistia en establecer ruedas hidráulicas sobre una base flotante capaz de subir y bajar con la marea misma, de modo que las ruedas tuviesen constantemente sumergidas sus paletas la misma cantidad, lo cual se obtenia haciendo que la presion del agua actuase sobre un marco suficiente, dentro del cual se establecia todo el mecanismo de la rueda. Otros ingenieros apelaban al recurso de situar los extremos del eje de la rueda hidráulica sobre los pistones de dos prensas hidráulicas, en las cuales se inyectaba el agua por la accion de la rueda misma.

Las dos ideas son perfectamente prácticas, y de ningun modo costosas; pero resultan de tal modo molestas, y requieren tal vigilancia y tan especial atencion, que sin duda por su causa, han ido cayendo en desuso los molinos de marea establecidos de este modo.

El segundo medio consistia en compensar el contínuo cambiar del nivel, empleando peculiares formas de ruedas que pudieran funcionar aun estando sumergidas totalmente ó en gran parte. Muchas ruedas de esta clase fueron propuestas, y su descripcion puede verse en Belidor, Barlow y otros autores, de que yo considero conveniente hacer caso omiso. Todas tienen el gran mérito de funcionar bajo el agua, y la grandísima falta de aprovechar muy poco la potencia. La pérdida

en algunas es tan grande, que su aplicacion práctica ha resultado negativa.

Fácilmente se concibe que yo no puedo recomendar semejantes mecanismos, y que ni aun llamaria la atencion hácia los preciosísimos recursos que pueden encontrarse en las mareas, á no existir una máquina de invencion moderna, capaz de utilizar, verdadera y eficazmente, la fuerza motriz de las aguas del mar. Esta máquina es la turbina, ya citada á otro propósito. La fuerza de la turbina es proporcional á la diferencia entre la presion interna y la externa á su cilindro, sin que para nada importe la profundidad en que se establezca semejante mecanismo. Siempre su accion es la misma, y devuelve prácticamente una considerable fraccion de la potencia. La turbina realiza, pues, las condiciones necesarias para el buen aprovechamiento de nuestras mareas de Irlanda.

Si, volviendo á nuestro ejemplo del canal y del estanque, colocásemos una turbina detrás de la compuerta, y admitiésemos el agua en el depósito con el peso de 2 piés, la turbina nos utilizaria $^2/_3$ á lo ménos de la potencia teórica calculada, y esto igualmente durante 5 horas á la creciente, y otras 5 á la menguante. Las disposiciones convenientes para llevar el agua á su destino, son de tal naturaleza, que ocurrirán de por sí á cualquier ingeniero mecánico, y además de tan especial carácter técnico, que no las considero para expuestas aquí.

La turbina es, por tanto, la máquina propiamente adecuada para el aprovechamiento de la marea. Por cada acre de estanque podemos esperar que nos dé, por lo ménos, 3 caballos, trabajando 20 horas de las 24, diariamente. Término medio, pues: cada 33 acres de estanque con mareas de 12 piés, nos proporcionarán una máquina de la fuerza de 100 caballos.

Ahora bien, consideremos cuántas y cuántas localidades existen en nuestras costas, que en su presente estado son perfectamente inútiles, y que solo requieren malecones de fácil y barata construccion, para quedar convertidas en estanques utilizadores de la fuerza del mar. ¡Cuántos lugares existen, con especialidad en nuestras costas orientales, donde la naturaleza nos presenta inmensas ensenadas, hoy sin uso, como tentando á la industria á ejecutar lo poco que resta por hacer para conseguir colosales depósitos de fuerza! Balliteigue, Tacumshane y las caletas adyacentes de Wexford son vivos ejemplares de tales ensenadas: estrechas en la embocadura: capaces en el interior; formadas por la naturaleza como hubiera podido un hábil ingeniero.

Locales hay, sin embargo, en que las mareas, complejas por varios accidentes, anulan las ventajas de la forma. Las ensenadas entre Dublin y Drogheda presentan muchos casos similares. Las áreas comprendidas entre el camino de hierro y la orilla pueden servir de ejemplo respecto á la facilidad de represar en esos depósitos las mareas que los llenan y los vacian.

No trato de calcular la potencia mecánica que puede utilizarse en estas localidades, etc.

## II.

## UTILIZACION DINÁMICA DE LA MAREA EN CÁDIZ.

---

Mi excelente amigo y antiguo compañero en el Observatorio de marina de San Fernando, Sr. D. Enrique Garrido, primer astrónomo del Establecimiento, consultado por mí sobre el régimen de aprovechamiento de las mareas en la bahía de Cádiz, tuvo la bondad de contestarme con fecha 28 de Noviembre de 1873:

1.° *¿Cuál es la organizacion del trabajo para aprovechar el desnivel de las aguas de las mareas en la bahía de Cadiz?*

Para emplear con utilidad como fuerza motriz de una máquina ó artefacto las diferencias de nivel que producen el flujo y reflujo de las aguas del mar, se aprovecha el desnivel que resulta entre las aguas represadas durante el tiempo del flujo, y las libres ó del mar durante el reflujo,

1.° Represando el agua durante el período de la pleamar en un gran depósito, que debe contener, con algun exceso, el gasto que originen los aparatos hidráulicos que con ella han de funcionar:

2.º Dejando escapar por saetines, canales, orificios ó vertederos, en cuyo curso se ha de encontrar el aparato motor, el agua represada, tan luego como el nivel de esta, respecto del de las libres, exceda en la cantidad suficiente para que funcione dicho aparato;

3.º Disponiendo dichos surtidores de agua con portalones de corredera, ú otro aparato á fin de poder aumentar ó disminuir la salida de esta, hasta dejarla en la cantidad necesaria para que, funcionando el aparato hidráulico con la velocidad requerida, el trabajo que la máquina produzca sea en cantidad y calidad el que se apetece;

4.º Dando al orificio de desagüe la magnitud necesaria para que el aparato funcione con desahogo;

5.º Cuidando de que la represa de agua sea lo más abundante posible, para que en las mareas llamadas muertas puedan funcionar todos los aparatos hidráulicos que se monten, ó, ya que esto no pueda ser, el mayor número de ellos: esto exije que los caños ó piezas que se roturen para constituir el depósito, ocupen una gran extension de terrenos en las inmediaciones del local en que se edifique; y para que las obras sean poco costosas es necesario que dichos terrenos sean anegadizos ó de muy poca elevacion: teniendo el depósito gran superficie, el nivel de éste bajará poco por el agua gastada en el período de trabajo de los aparatos; y en las mareas muertas que, como V. sabe, dan poca diferencia de nivel entre la pleamar y la bajamar, podrán funcionar todas ó casi todas las máquinas, produciendo el mismo ó casi el mismo resultado que en las mayores mareas;

6.º Dando á la compuerta ó compuertas de carga de la presa las dimensiones necesarias para que en las horas de creciente puedan llegar las aguas á las últimas piezas del depósito, y adquieran estas en lo posible el nivel de la pleamar; pues si las compuertas son pequeñas, la carga no será la máxima, y el trabajo se resentirá de ello.

2.º *¿Trabajan los molinos durante toda la lunacion, ó descansan durante las mareas muertas? ¿Cuántos dias?*

Hay molinos que pueden trabajar durante toda la lunacion con todas sus piedras: otros que, aunque trabajan constantemente, no pueden verificarlo con todo el número de piezas durante las mareas algo muertas, ó las muertas, si bien funcionan todas en las mareas vivas; otros, en fin, que, pudiendo tambien trabajar con todas sus muelas en las mareas vivas y con algunas en las algo muertas, no pueden funcionar con ninguna en las muertas. Esto depende de la magnitud de la represa y del estado de servicio en que se encuentren las piezas que la constituyen; porque, abiertas estas en terrenos fangosos, van con el tiempo cegándose con lama, ó subiendo sus fondos; y, si no se han verificado á tiempo las limpias necesarias, disminuye la represa hasta el punto de no tener el agua necesaria para que funcione ni una sola muela en las mareas muertas. Tanto por dicha causa cuanto porque no todas las mareas muertas tienen la misma magnitud, ya por lo que en sí misma es la marea, ya por el efecto de los vientos que reinan, no se puede fijar el número de dias que los molinos dejan de trabajar durante las muertas. En esta localidad, por ejemplo, una marea muerta se convierte en *más muerta*, como dicen los prácticos, cuando reinan vientos del *N.;* y se hace algo más viva si los vientos reinantes son del *E.*

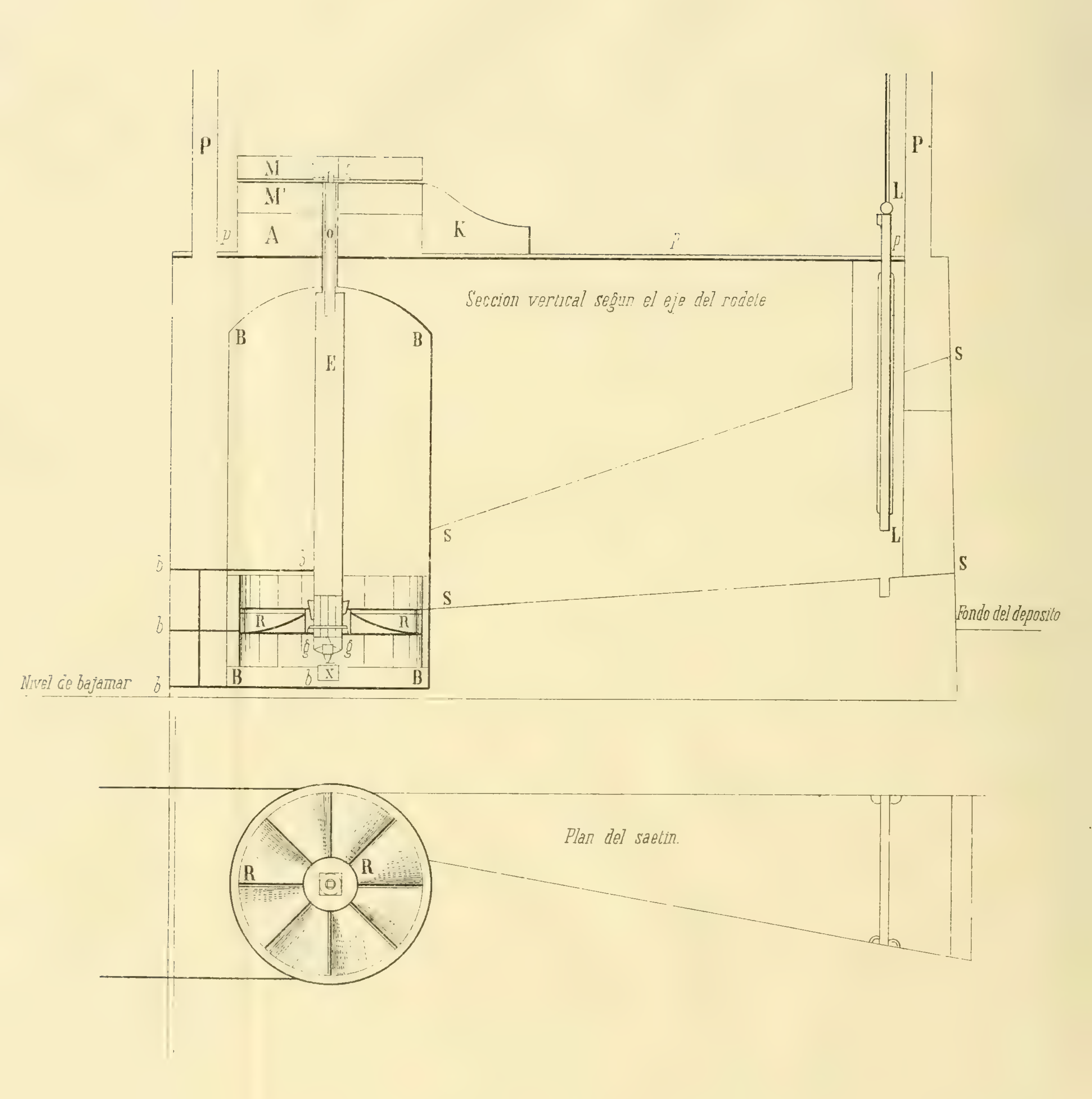
3.º *¿Cuál es la disposicion para aprovechar el desnivel?*

Se represa el agua á la pleamar, y cuando el desnivel entre la represa y el agua libre es el conveniente, se abren la cantidad necesaria los portalones de los saetines, para que funcionen los aparatos hidráulicos: un molino bien dispuesto puede servir aquí diariamente dos períodos de *seis* horas de trabajo con todas sus muelas; pero, si se trata de aprovechar la creciente y la vaciante, el coste de la obra se hace muy oneroso, y el trabajo nunca alcanza al que puede obtenerse con la organizacion más sencilla. Esta es la opinion de un hombre que tengo por muy práctico en la materia: pero no puedo apreciar el verdadero valor de semejante parecer.

4.º *¿Qué desnivel es el necesario para que las máquinas funcionen?*

El desnivel necesario para que funcionen bien las máquinas es variable con la altura de la marea, y yo creo que con la situacion y condiciones que tengan el molino y sus máquinas: así es que en mareas de *cuatro cuartas* (llamadas así porque la diferencia del nivel entre bajamar y pleamar alcanza esta magnitud) es suficiente un desnivel de *tres cuartas;* en las de *seis cuartas* se necesita un desnivel de *cuatro cuartas;* y en las de *nueve cuartas*, que

Frente á la pág. 137.



son las máximas de esta localidad, no pueden funcionar las piedras con menos de *cinco cuartas* de desnivel.

5.º *¿Durante cuánto tiempo trabajan en la subida y cuánto en la bajada de las aguas?*

Los molinos movidos por el agua del mar trabajan en tanto que las diferencias de nivel entre las aguas represas y las libres es igual ó mayor que las expresadas en el punto 4.º; y es evidente que dichas diferencias existirán entre las aguas de ambos lados de la presa, desde algun tiempo despues de la pleamar hasta cierto tiempo despues de la bajamar, comprendiendo, por lo tanto, parte de la creciente ó período de subida, y parte de la vaciante ó período de bajada de las aguas. Esto es en el caso de ser suficiente la represa; porque, si no, ésta quedará vacía durante algun tiempo en que el molino dejará de funcionar.

6.º *¿Qué clase de máquinas son las que utilizan al desnivel? ¿Son turbinas? ¿Están las paletas por debajo del nivel de las bajamares? ¿Siempre? ¿Las paletas son curvas ó planas? ¿Obra el agua de dentro á fuera como en las turbinas* FOURNEYRON *y* FONTAINE?

Los motores hidráulicos que por aquí hay son únicamente los que emplean los molinos harineros.—Vea V. el croquis adjunto hecho á la pluma y casi sin escala, pues lo he trazado *sur place*.

*B*, *B*, *B*, *B*,=pozo.
*M*,=muela volandera.
*M'*,=muela durmiente.
*A*,=asiento.
*t*, *t*,=clavija.
*O*,=prolongacion del eje del rodete, de hierro.
*E*,=eje del rodete.
*R*, *R*,=rodete.
*g*, *g*,=gorron.
*x*,=puente.
*s*, *s*, *s*, *s*,=saetin.
*b*, *b*, *b*, *b*,=ojo de desagüe.
*L*, *L*,=portalon del saetin.
*P*, *P*,=paredes del molino.
*p*, *p*, *p*,=piso de id. (de madera).
*k*,=cajon de material ó madera.

Estas primitivas máquinas son las llamadas *rodetes de pozo*, en que el líquido obra de la circunferencia hácia el centro: constan de un rodezno de madera de forma cilíndrica con agujero ó centro cuadrangular en el que va implantado el árbol vertical, tambien de madera, que en la seccion de ajuste es de figura octógona: á este arbol se asegura el rodete por una chabeta de hierro que pasa por escopleaduras entrelargas abiertas en aquel y en el cubo de éste, y por cuñas que rellenan los espacios resultantes entre las caras del agujero del mismo cubo y las del árbol: dicho cubo lleva ajustados en posicion inclinada ocho álabes ó paletas de madera, curvas por ambas caras, que se aseguran con un aro del mismo material, concéntrico con el cubo, y cierra y fortalece al rodezno: la altura de este aro y la del cubo es generalmente de *siete* pulgadas, y su diámetro es de *una* vara; pero yo creo que estas dimensiones deben variar con el diámetro y peso de la muela que el *rodete* haya de poner en movimiento. En el extremo inferior de dicho árbol va ajustada una pieza de hierro llamada *gorron*, que tiene cuatro brazos cónicos en forma de cruz; de estos uno sirve de espiga al árbol para facilitar el movimiento, y los otros tres, que aseguran por su ajuste en el árbol la invariabilidad de posicion entre ambas piezas, van remudándose, por cambio de lugar de los brazos de ajuste, á medida que el que es realmente gorron se inutiliza á causa de su contínuo rozamiento con el centro sobre que gira el árbol, el cual es un punto cónico hecho sobre un tejo de bronce empotrado en un madero grueso que se llama la *puente*. En el otro extremo del árbol va concéntricamente ajustada una barra cilíndrica de hierro que sirve para prolongar el mismo hasta una altura de tres pulgadas sobre la superficie superior de la muela fija ó *durmiente* y para ajustar en su extremo, rebajado á la forma rectangular en la extension de dichas tres pulgadas, una plancha tambien de hierro llamada *clavija* que, situada en sentido perpendicular al árbol, es la que soporta la muela móvil ó *volandera*, y la que ha de comunicar á esta el movimiento giratorio del eje. Esta muela descansa por su propio peso y equilibrada sobre la *clavija*, que encaja en una mortaja de su misma figura abierta en la piedra.

Para que funcione este rodete se construye un pozo de sillería en forma cilíndrica, cuya seccion trasversal tiene dos ó tres pulgadas de diámetro más que el rodete, y cuya profundidad debe ser tal que su fondo quede algunas pulgadas más alto que el nivel de las bajamares ó que el fondo del caño en que el molino esté edificado, si dicho caño queda en

seco á las bajamares, como sucede en algunos molinos de esta localidad. A una ó dos pulgadas sobre el fondo de este pozo se coloca como diámetro la *puente* antes citada, empotrándola por un extremo, con cojinetes y cuñas, en una abertura hecha á propósito en el muro del pozo, y sosteniéndola, como colgada, por el otro, con una larga barra de hierro que termina en figura de cruz, y encaja por este punto en una muesca hecha al efecto en la cabeza de la *puente:* el otro extremo de esta barra va conexionado á un tornillo con tuerca fija en la cubierta del pozo y al nivel del piso del molino, que sirve para arreglar en altura la posicion de dicha *puente*, su horizontalidad, la verticalidad del eje del *rodete*, y la distancia de la durmiente, á que se ha de colocar la muela volandera, á fin de que el género molido tenga las condiciones apetecidas. Al conjunto de esta barra y del tornillo denominan *el alivio;* nombre no mal aplicado, puesto que con su movimiento se aumenta ó disminuye la distancia que media entre ambas muelas, y por tanto, el engrane, llamémosle así, del picado de la una con el de la otra, lo que, á su vez, aumenta ó disminuye la facilidad de movimiento en la muela volandera.

Para conducir el agua de la represa al pozo, hay un conducto llamado *saetin*, dispuesto generalmente en forma de tunel abovedado, que, partiendo de la cara exterior del muro de presa hácia el depósito, con una abertura de unas tres varas y media de alto por una de ancho, termina en la pared cilíndrica del pozo con unas veinticuatro pulgadas de alto por nueve de ancho. El plan de este *saetin*, que empieza algunas pulgadas más alto que el fondo de la caldera, es un plano inclinado hácia el pozo con una pendiente de $^5/_{100}$ poco más ó ménos. La posicion del saetin respecto del pozo debe ser tal, que una de sus paredes se encuentre en el plano tangente al aro del *rodete*, que es perpendicular al muro de presa: la otra pared, prolongada, cortará á este plano y al rádio del *rodete* que va al punto de contacto, á causa de la forma del *saetin*. A fin de impedir ó de moderar la salida de las aguas de la represa por el *saetin*, se coloca, entre correderas, á cierta distancia de la boca ó entrada de éste, un portalon de madera capaz de subir y bajar verticalmente por medio de una cuerda que pasa por una polea, pendiente de un arbotante situado en la cara interior de la pared del edificio.

La situacion que debe tener la cara superior del *rodete* respecto del plano del *saetin*, debe ser tal, que la interseccion de este plano con la superficie lateral del pozo y dicha cara superior, estén en un mismo plano horizontal; y, para evitar que parte del agua que llega por el *saetin* se derrame y pierda por el espacio que existe entre el aro terminal del rodete,—llamado *guirnalda* ó *corona*,—y las paredes del pozo, se revisten estas hasta la altura conveniente con tablas que al mismo tiempo han de quedar casi en contacto con la superficie exterior de dicho aro, en cuanto no lleguen á impedir el libre movimiento del rodezno.

Para dar salida al agua que ya funcionó y cayó por la parte inferior del *rodete*, despues de obrar y resbalar sobre los álabes del mismo, hay practicada una abertura en la parte del muro del pozo opuesta al *saetin*, que partiendo del fondo en una extension igual al semicontorno del mismo, tiene una altura de 18 ó 20 pulgadas:—esta abertura se llama *ojo*, y conduce inmediatamente el agua gastada al caño de desagüe, ó lugar de las aguas libres.

Para hacer la represa ó carga del depósito ó *caldera* hay un ojo especial abierto en el mismo muro de los *saetines*, que lleva hácia la parte opuesta á la de entrada de las aguas una compuerta ó portalon con bastidor de madera que gira sobre un eje horizontal, del cual cuelga, situado en su canto superior; la compuerta funciona como válvula al ejercer el agua su presion: así es que, durante la creciente, estando el depósito vacío, ó siendo su nivel más bajo que el de las aguas libres, el portalon es empujado por estas, las cuales se precipitan por los espacios que deja aquel abierto hácia sus costados y parte inferior: en el momento de la pleamar se equilibran los pesos de las aguas exteriores é interiores; el portalon toma la posicion vertical; descansa sobre su marco, y cierra, por tanto, toda salida; y es evidente que en esta disposicion se conservará mientras que el nivel de las aguas interiores sea más elevado que el de las exteriores; y, en consecuencia, no habrá por este punto ninguna salida de agua en tanto duren semejantes circunstancias.

Hasta aquí dejo dada idea de todo el mecanismo y construccion que hay bajo el piso del molino. Sobre éste, y refiriéndome á una sola muela, hay el *asiento*, plataforma de material en que se fija la *muela durmiente*, que

está asentada sobre la bóveda ó cerramiento del pozo; la cabeza del tornillo de alivio que se mueve con una llave, y que sobresale del pavimento algunas pulgadas; el pescante y aparato de suspension, que sirve para levantar y voltear la *muela volandera* cuando es necesario picar las piedras, y la *tolva* con su pescante, cuyo mecanismo es tan conocido, que me parece inútil explicarlo.

Con lo que llevo dicho creo haber expuesto lo necesario para que V. comprenda todo el mecanismo de los molinos harineros de esta localidad. Es muy sencillo, pero no hay duda de que si, en vez de emplear rodetes, se hiciese uso de turbinas, se obtendria mayor cantidad de trabajo útil con igual consumo de agua; pero los actuales rodetes son poco costosos, simples para la transmision del movimiento á la muela, y fáciles de comprender por las personas, generalmente no instruidas en mecánica, que los manejan: además se encuentra quien los componga en todas estas localidades, lo que no sucederia con las turbinas, en que hay piezas delicadas.

7.° *¿Desde Puntales hasta la punta de Laclica el fondo que forma la canal es de arena, fango, cascajo ó roca?*

El fondo de la canal que va desde Puntales hasta la Punta de Laclica es, en su generalidad, de *lama* ó fango muy suelto; pero frente al derruido fuerte denominado *Fort Louis* en el Trocadero, hay puntos en que se sonda algun cascajo. Los fangos, propiamente dichos, no se encuentran sino en el canal del *Sancti Petri* y en sus derivados, desde las proximidades de los diques del arsenal para adentro, etc.

## III.

### OTROS MEDIOS DE UTILIZACION.

Además de los rodeznos, existen en Inglaterra molinos que se mueven por una rueda de paletas.

Tambien existen pontones-molinos: son unas grandes lanchas, ancladas en caños estrechos, por donde pasa la marea con gran velocidad: en estas lanchas está sostenida una rueda vertical de 3 á $5^m$ de diámetro, con 12 á 24 palas de 2 á $5^m$ de anchura. Estas palas entran en la corriente la cuarta parte del radio de la rueda; y, actuando sobre ellas la marea, produce un movimiento circular contínuo en el eje de la rueda, que luego se aprovecha industrialmente.

## IV.

### SALINIDAD DEL AGUA DEL MAR.

En los cálculos para evaluar la fuerza que representa un estanque de 7200 metros cuadrados, he supuesto igual á 1 la densidad del agua del mar. Los autores difieren mucho sobre este punto, por causas fáciles de asignar.

Hé aquí algunos datos.

*Grados de salinidad del agua del Atlántico segun las observaciones del Challenger.*

| Profundidad en brazas inglesas. | Latitud 38°, 3' N. Longitud 39°, 19' O. de Greenwich. Peso específico á 6° Fahr. | Latitud 20°, 58' N. Longitud 22°, 57'. Peso específico á 60°. |
|---|---|---|
| Superficie. | 1,02684 | 1,02685 |
| 100 | | 1,02732 |
| 150 | 1,02677 | 1,02658 |
| 250 | 1,02641 | 1,02642 |
| 400 | | 1,02609 |
| 500 | 1,02608 | 1,02600 |
| 1500 | 1,02607 | 1,02620 |
| | Término medio 1,02643 | Término medio 1,02649 |

| Profundidad en brazas inglesas. | Latitud 1°, 22' N. Longitud 26°, 36' O. Peso esp. á 60° F. | Latitud 3°, 8' N. Longitud 14°, 49' O. Peso esp. á 60° F. |
|---|---|---|
| Superficie. | 1,02616 | 1,02591 |
| 50 | 1,02630 | 1,02658 |
| 90 | 1,02627 | |
| 100 | | 1,02643 |
| 200 | 1,02607 | 1,02620 |
| 300 | 1,02618 | 1,02610 |
| 400 | | 1,02629 |
| 1500 | 1,02618 | 1,02613 |
| | Término medio 1,02619 | Término medio 1,02623 |

Término medio general... 1,02634
Gay-Lussac calculó.. . . 1,08800
Nystrom trae............ 1.03000

El agua del Báltico, el Caspio y el Aral, contienen tan poca sal, que viven en ella animales de agua dulce conjuntamente con animales marinos.

Por el contrario, las aguas del mar Muerto son tan pesadas, que su densidad, segun Nystrom, es 1,24.

# LIBRO III.

## LAS OLAS.

# CAPÍTULO I.

## AMPLITUD DE LAS OLAS.

### I.

En calma perfecta, la superficie del agua de un lago refleja invertidos los objetos de la orilla, como lo haria un espejo horizontal. Si un perezoso soplo de viento se mueve solo con la velocidad de $^1/_2$ kilómetro por hora, no perturba la perfeccion de las imágenes. Un soplo de alguna mayor celeridad desordena ya la copia; pero, no bien cesa la ráfaga, reaparece la perfeccion de los perfiles. Cuando el viento camina con la velocidad de 1 kilómetro por hora, las arrugas de la superficie líquida estorban ya la definida produccion de las imágenes; pero las agitaciones del agua no tienen fuerza para propagarse; porque, si hay en el lago un espacio guarecido de la accion del viento, allí, con seguridad, es perfecto el espejo de las aguas. Este ligerísimo tremor de los líquidos, incapaz de propagacion, es lo que Scott Russell llamó ondas de capilaridad, y colocó en el 3.° de sus 4 órdenes de ondas.

Solamente cuando la velocidad del viento resulta de algo más que de 3 kilómetros por hora, es cuando empiezan á producirse con regularidad notable las olas ú ondas de oscilacion, poco perceptibles al principio, pero cuya amplitud se va ensanchando á medida que aumenta el viento ó se prolonga su duracion.

No es fácil comprender cómo pueden producirse olas de magnitud diferente cuando toda la extension de una superficie está por igual expuesta á la misma intensidad de viento. Solo cabe encontrar explicacion negando el supuesto, y no concediendo que las desigualdades del terreno y de los árboles ó arbustos de la orilla permitan en caso alguno la igualdad de exposicion á las ráfagas del aire, ni tampoco que éste sople siempre con idénticas velocidad y direccion.

Parece que el viento causa las olas, porque se adhiere á las moléculas del agua; adherencia que aumenta considerablemente por la circunstancia de incidir sobre la superficie líquida con una notable inclinacion: regularmente de 18°.

Si, por causas cualesquiera, pues, se hace disminuir ó cesar esta adherencia, el resultado es sorprendente hasta lo increible. Por esto desde remotísimos tiempos, se ha asegurado que el aceite tenia poder para calmar la tempestad (1).

(1) El Sr. Perez de la Sala dice: «Uno de los efectos más sorprendentes, y hasta cierto punto inexplicables, es el producido sobre las olas por los cuerpos grasos. El Dr. Franklin

## II.

Las olas no son ondas solitarias ó de translacion; pertenecen al sistema oscilante: las partículas de la undulacion no viajan: lo que se propaga es una forma undular, como las que se observan en un campo de trigo, donde ondean las espigas sujetas por sus raices á la tierra: las olas, pues, en altamar son siem-

---

aconseja el empleo del aceite como medio de aplacar la mar en un temporal; y, antes que él, un guarda-almacen de Kilda, citado por Martin, acostumbraba en tiempo de tempestad á dejar flotando á la popa del bote por medio de un cable, un paquete de tortas *(puddings)* amasadas con el hígado de aves marinas, con lo cual impedia romper las olas y calmaba la mar. Cuando el vapor de hélice de Goole, llamado *William-Beckert*, se fué á pique el 12 de noviembre de 1856, su tripulacion se salvó en los botes, á pesar de una gruesa mar, empleando el aceite. Tambien hacen uso de él los pescadores holandeses; y un testigo ocular que presenció sus efectos en el puerto de Scarborough, asegura se pueden calificar de mágicos, estableciéndose alrededor del buque un extenso espacio de agua tranquila.

»Es conveniente consignar aquí estos hechos, pues quizás tengan utilidad aplicándolos á los botes salvavidas. La explicacion de este fenómeno es desconocida: ordinariamente se atribuye á la facilidad con que el aire se desliza sobre la superficie untuosa de la delgada película de aceite, sin ejercer su accion sobre la masa de agua cubierta por ella.

»Vancouver observó cerca de la Punta de la Concepcion, en la Nueva Inglaterra, que el mar aparecia cubierto, en cuanto alcanzaba la vista, de una sustancia parecida á brea, resultando alrededor del buque un espacio tranquilo de grande extension. Una cosa parecida refiere Scoresby, del mar del Norte; la mar se aplaca en cuanto principia la formacion de los primeros cristales de hielo. Sin embargo, los cuerpos grasos no deben producir el mismo efecto sobre olas formadas lejos del punto en que se encuentra el buque, y á ello pudiera atribuirse el mal resultado de algunos experimentos intentados. Todo esto parece dar alguna fuerza á la opinion de los que afirman que el viento obra sobre el mar por la adherencia del aire y por el rozamiento contra la superficie del agua.

»Por último, es una observacion hecha por todos los marinos, que la accion del viento sobre el mar en tiempo de lluvia es ménos que en tiempo seco.» (P. de la Sala, *Constr.*)

En un diario de Madrid, de cuyo título no tomé nota, he hallado lo siguiente:

«Un periódico de Bombay publica una relacion sobre el empleo dado al aceite para calmar el furor de las olas y poder socorrer á un buque durante la tempestad. Dice así.

»El *King Cenric*, buque de 1490 toneladas, salió de Liverpool para Bombay en el mes de julio último. Despues de haber doblado el Cabo de Buena Esperanza, experimentó un fuerte viento de Noroeste, que duró bastante tiempo. Olas inmensas, precipitándose sobre el buque, invadieron las escotillas, arrastraron cuanto encontraron sobre el puente, y rompieron las cámaras, destruyendo las del capitan y de los oficiales.

»La tempestad duró cerca de cinco dias, y las olas no dejaban un solo instante de barrer el puente.

»Uno de los oficiales, Mr. Brower, tuvo la feliz inspiracion de hacer la prueba de arrojar al mar cierta cantidad de aceite.

»Se tomaron 2 sacos de lona, y se llenaron con 2 galones (sobre 9 litros) de aceite fino cada uno.

»A cada saco se le hicieron algunos agujeros pequeños, y se arrojaron á ambos costados del buque.

»El resultado fué mágico: las olas dejaron de precipitarse contra la popa y los costados del buque, y á algunos metros de distancia, en aquellos puntos en que se habia extendido el aceite, tanto en la proa como en la estela, se encontraba un vasto círculo de mar tranquila.

pre undulaciones de oscilacion; gregarias porque se presentan en grupos; y constan siempre de una parte cóncava seguida de su gemela convexa, hasta que llegan á las playas, donde se convierten en ondas de alto relieve, solitarias ó de translacion.

La distancia de cresta á cresta se llama amplitud: el tiempo que tarda en llegar la segunda cresta á donde estuvo la primera, se distingue con el nombre de *período;* y la mayor parte de los autores denominan *altura* á la distancia vertical entre dos horizontales tangentes á una convexidad y á una concavidad contíguas de la ola;

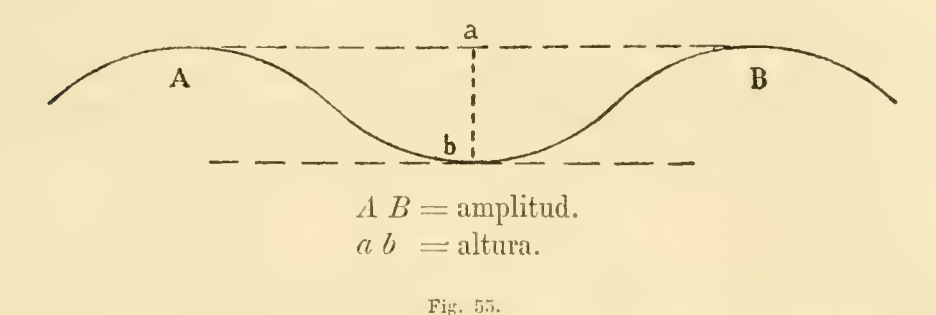



Fig. 55.

el tiempo que invierta la molécula $A$ en llegar al punto fijo $B$ se llamará *el período.*

El movimiento de las undulaciones de oscilacion es mayor en la cima y en el fondo de la ola: no hay movimiento en la mitad de la altura de la undulacion.

El carácter de las ondas de oscilacion es cicloidal prolongado (1); pero nunca la cicloide, que parece ser la forma límite.

---

»La tripulacion pudo hacer cómodamente entonces las reparaciones necesarias.

»Los 2 sacos de aceite duraron 2 dias; y, habiéndose calmado enteramente el mar, ya no fué necesario gastar más aceite.»

Esta propiedad de los cuerpos grasos debió ser conocida de los antiguos, pues recuerdo haber leido, cuando yo tendria 12 ó 13 años, algo relativo al particular en un viejo libro de mitología, cuyo título he olvidado, pero de cuyas señas me acuerdo.

Por lo demás, esta es una propiedad, constantemente utilizada en la práctica por los buques de cabotaje que entran desde el Atlántico al brazo de mar llamado Sancti-Petri, que desemboca en la bahía de Cádiz.

Al hacer los faluchos por la boca del canal con mar gruesa del Sudoeste, llevan ésta por la popa; y, una vez en la boca, les es forzoso atravesarse para gobernar al Nordeste, teniendo, por tanto, que recibir la mar sobre el costado. Y, para evitar los daños que el romper de la mar pudiera ocasionarles, arrojan al agua, poco antes de orzar, 8 á 10 litros de aceite.

(1) El movimiento de las moléculas es oscilatorio en un plano perpendicular á la ola: las moléculas marchan al encuentro de la que llega, y en cuanto entran sn el plano vertical correspondiente á la cresta, retrogradan para avanzar en el sentido de la marcha aparente: despues el movimiento de la molécula se va retardando, y cambia de signo para marchar al encuentro de otra ola. La amplitud de esta oscilacion horizontal suele llegar á $1^{m}$, aunque ordinariamente sea menor, y varía muy poco de la superficie al fondo cuando la agitacion cerca de éste es muy fuerte. (P. DE LA SALA.)

La altura de una ola nunca iguala á la profundidad del agua: por eso se rompen en las playas.

En el libro I vimos cómo la ola fenece, deshaciéndose en espuma playa arriba. Su destruccion final en las rocas y arenas, despues de extenuadas sus fuerzas en erguirse vanamente contra el fondo, es una escena de sublime grandiosidad en la tormenta. ¿Para qué sirve tanto movimiento, tanto tumulto, tanto imponente despilfarro de titánica potencia? ¡Para producir calor! Las olas mucho tiempo antes de llegar á la orilla, parece como que sienten el fondo, que es su muerte; y, en vez de someterse sin protesta á su destino, se encrespan, rugen, maldicen como Ayax, se recogen en sí mismas, se sublevan, arrebatan cuanto encuentran, lo sepultan, lo destrozan, dislocan el fondo, y, al fin, se suicidan y deshacen, antes que conformarse á la muerte con el abyecto *morituri te salutant* de los viles gladiadores de la antigua Roma de los Césares.

## III.

En el mar pueden coexistir muchos sistemas de olas, todos de distinta direccion é intensidad; porque la agitacion marina no es siempre manifestacion de fuerza actual: suele serlo de fuerza ya pasada, ó por venir.

Pueden, pues, atravesarse, y como compenetrarse las undulaciones causadas por una ligera brisa, con la gran undulacion de una lejana tormenta, sin que ésta anule aquellas, ni las destruya, ni aun las cambie. A estas dos clases de ondas oscilatorias pueden agregarse las de otro viento..... y las de otro, y otro..... juntamente con las resultantes de las reflexiones en las costas..... y todos estos movimientos coexistentes producen alturas complejas de las crestas, efecto de la suma ó de la diferencia del sentido y energía de cada oscilacion individual; pues, si bien tantos movimientos no se estorban ni destruyen, no pueden, sin embargo, dejar de influir recíprocamente los unos en los otros. Por tanto, cuando esas undulaciones se interfieran en opuesto sentido, se modificarán en intensidad; cuando se reunan en uno solo, la ola-conjunto será más alta ó de mayor potencia que las anteriores y posteriores; lo cual explica el frecuente fenómeno de que, cuando hay oleaje, despues de cada tres, cuatro ó más undulaciones de una série, aparezca periódicamente una ola de altura y fuerza mucho mayor que las demás.

«Estas grandes olas que, á intervalos regulares, se suceden con fuerza, durante las borrascas, en medio de otras séries de olas más pequeñas, reciben de los marinos el nombre de VAGA ó VAGA DE MAR; y, como tambien, con iguales intervalos, la agitacion se desvanece casi, apareciendo poco alterada la superficie del mar, dan á esa tranquilidad relativa el nombre de YACENTE ó de QUEDADA. Esta tranquilidad en momentos críticos es de grandísima importancia para salvar un paso peligroso, especialmente en los puertos de barra, por lo

cual los marinos que van á uno de esos pasos, cuentan desde la aparicion de la VAGA el número de segundos que median hasta la QUEDADA, y acometen la entrada con la seguridad de encontrarse en el canal durante el momento de la tranquilidad y dentro del puerto cuando se presenta de nuevo la vaga (1).»

Así, el caos tumultuoso de las aguas en determinada zona, suele no ser efecto de la accion inmediata del viento en aquel mismo paraje, sino una compleja resultante de los choques de las masas de agua circunvecinas, los cuales son á su vez resultantes de los movimientos de otras masas lejanísimas; por manera que la agitacion en un lugar es siempre una última resultante de las infinitas resultantes de todo el mar entero. Por esto los marinos, al ver movimiento en las mares, se preparan á recibir vientos que todavía no han llegado; y, así, pasada una tormenta, continúa aún grandísima agitacion durante muchos dias; porque el huracan, ya ausente, sigue removiendo todavía los mares en espacios muy remotos....; que el movimiento en un fluido denso y no elástico, como el agua, debe propagarse muy rápidamente, por grandes que sean las distancias (2).

## IV.

El viento, pues, causa las olas, las cuales, como inmensas compañías marchando en columna, caminan en líneas paralelas y perpendiculares á su propagacion, que es la direccion del viento.

Pero, en la proximidad de las costas, las olas pueden no seguir precisamente esta direccion, y llegar á la playa en sentido opuesto á ella, como vimos que sucedia á la onda solitaria, por virtud de un giro ó doble variacion que la hacia llegar á la playa en direccion paralela á la costa (3). La influencia del fondo tiene aquí lugar tambien.

Además, las olas se reflejan en los obstáculos que encuentran, formando el ángulo de reflexion igual al de incidencia (4); pero aumentan su altura en el punto del choque.

No es necesario que el obstáculo sea sólido para que la reflexion se verifique, y se produzcan efectos formidables por el ascenso y la agitacion furiosa de las aguas.

El espacio del Atlántico situado á la latitud de 45°, y comprendido entre los 40 y 50° de longitud O. de Greenwich, es conocido entre los marinos in-

---

(1) P. DE LA SALA, *Constr. en el mar.*

(2) FRISI, citado por CIALDI, *Sul moto ondoso del mare.*

(3) En Cádiz, que está unido al resto de la isla por una cinta estrechísima de tierra, extendida de Norte á Sur, es muy frecuente ver las olas levantadas por un viento del Sudoeste, batir en esta direccion las playas del Atlántico, y en la contraria las de la bahía (segun ya se ha dicho).

(4) En esto, como hemos visto ya, se diferencian tambien de las ondas solitarias.

gleses por la significativa frase THE ROARING FORTIES (1), los cuarentas rugientes, y entre los franceses por la no ménos expresiva de LE TROU DU DIABLE, agujero de todos los demonios, segun algunos españoles. Con fuertes vientos de S. O. la altura de las olas es allí tolerable, mientras que con los vientos del N. O. los barcos tienen que cambiar de rumbo, porque la mar, de aspecto aterrador, rota y dislocada, como si la hubiesen surcado profundamente con un rastrillo colosal, ofrece verdadero peligro al navegante.

Y es que en el *trou du diable* el viento N. O. encuentra el Gulf Stream á un buen ángulo; tiende, pues, á desviar de su curso al Gulf Stream, cuya velocidad y cuya mole son tan grandes que no ceden al viento, ó si ceden en los grandes tiempos es un casi nada; de consiguiente, la fuerza del viento se emplea toda en levantar á insólita altura las olas sobre el semoviente malecon del Gulf Stream, haciendo la navegacion sumamente peligrosa. Por el contrario, un viento del S. O. ó del S. camina en la misma direccion (ó casi) que el Gulf Stream; y, como la fuerza del viento no tiene nada que se le oponga, su velocidad tiende, por tanto, á acrecentar la del mismo Gulf Stream (2).

## V.

La velocidad de propagacion de las olas es constante para un determinado viento.

La amplitud, partida por el tiempo que tardan en sucederse en un punto fijo dos crestas ó dos cavidades, es la velocidad de la propagacion.

Las olas no se propagan (y esto es importantísimo) con una velocidad proporcional á la profundidad del fluido (3), es decir, que su velocidad no es la final de un grave que hubiese caido desde una altura igual á la mitad de la profundidad del fluido en que las olas han sido generadas.

## VI.

En las costas resguardadas del viento disminuye la altura de las olas, y, tambien, en general, cuando el mar es de poco fondo ó de no gran extension (4).

---

(1) *Los grados* 40, 41, 42..... *que rugen:* por eso usan el raro plural *cuarentas*.

(2) ARTHUR R. GRANDVILLE, *Nature;* abril 1.º 1875.

(3) Créese que caminan con velocidades que varían como las raices cuadradas de las amplitudes. Pero ¿dónde esta la regla para determinar la amplitud?

(4) Perchè le onde possano raggiungere un'altezza e velocità imponente è necessario che molto vasta sia la superficie del mare, e molto profonda la massa dell'acqua. Se l'una o l'altra di queste condizioni manca, le onde saranno sempre relativamente di piccola altezza, per quanto durevole, esteso, e di conveniente angolo d'inclinazione e forza possa essere il vento.....

Per questo motivo le onde del Mediterraneo sono molto meno alte, voluminose e veloci di quelle dell'Oceano. (GIALDI, *Sul moto ondoso del mare.*)

Así, pues, para que las olas tomen gigantescas proporciones, se requiere:

1.ª Mucha intensidad de viento;

2.ª Prolongada accion del mismo;

3.ª Mucha superficie marina expuesta á él;

4.ª Mucho fondo.

## VII.

En alta mar la altura de las olas depende de la intensidad de los vientos.

Pero en lugares dados, cerca de las costas ó en las playas mismas, la altura y la forma cicloidea de la undulacion dependen de la profundidad del agua, de los accidentes del lecho, de las resistencias y de la friccion en los fondos, de las reflexiones en las costas, de la direccion que con respecto á las playas toma el viento, de las interferencias con la gran onda de la marea, y de otras muchas circunstancias.

Cuando vientos de tierra levantan el oleaje es constante la altura de las olas; pero aumenta con la distancia de la orilla.

Muchos han propuesto reglas para calcular la altura de las olas, dada su longitud, y vice-versa.

¡Trabajo casi inútil hasta hoy!

Solamente pueden enumerarse caractéres generales.

La altura de las olas, contadas desde la parte más alta de la convexidad á la más baja de la concavidad, no es nunca dos veces la altura del líquido en reposo, contado desde su nivel natural hasta el fondo del mar.

Al acercarse la ola á un bajo fondo, el lomo ó vértice se hace cada vez más agudo, y el límite á que puede acercarse la ola, sin excederlo, es precisamente $^1/_3$ de la amplitud.

Así, por la forma y altura de las olas, puede juzgarse de la profundidad del agua: donde exista una ola de $1^m$, téngase por seguro que hay un calado, por lo ménos, de algo más que $1^m$.

Cuando una ola ha pasado, rompiéndose, sobre un bajo, cesa de desbaratarse en espuma si el calado se hace más profundo, y la cresta deja de presentarse acuminada; ensancha su base, y toma la figura que corresponde á la profundidad. Naturalmente, pues, las olas de gran volúmen se rompen á mayor distancia de la orilla que las olas de menor masa.

En una gran ola, sin embargo, suele haber espuma, cuando ni por su altura ni por el fondo llega todavía á los límites del equilibrio molecular; pero en semejante caso, no es la gran ola la que se rompe, sino alguna otra más pequeña coexistente con ella, cuya curvidad se aumenta con la curvidad de la cresta de la ola grande, resíduo ó telégrafo de tormenta distante, pasada ó por venir.

La fuerza del viento puede ser tanta, que el equilibrio natural de las olas se destruya; y, cuando efectivamente la cresta de la ola se hace muy aguda, el

viento le deshace la cúspide mucho antes de que haya adquirido la altura á que sin el viento llegaria; y que, despues, realmente adquiere en cuanto el viento calma alguna cosa. Por tanto, los mares más revueltos no suelen tanto ser el resultado de un repentino huracan, como de un viento fuerte y constante en porfiada direccion (1).

Así, pues, en mar libre y muy profundo, la altura y el movimiento de las olas, en general, es proporcional á la velocidad, inclinacion y extension del viento, cuya direccion siguen; pero, si es muy furioso, la altura y el volúmen de las olas disminuyen sensiblemente; y por eso se dice que los grandes vientos abaten las grandes olas, cortándoles la cabeza; pero cuando el viento es de larga duracion, de no excesiva fuerza, y sopla sobre vasta superficie, entonces se ahonda mucho la cavidad; y, por tanto, la altura, el volúmen y la velocidad de la ola se exaltan, engrosan y aceleran.

El método generalmente seguido para medir en alta mar la altura de las olas es muy inexacto; pero tambien el único acaso por ahora que sea hacedero emplear. El observador, cuando no hay otro buque á la vista, espera á que el barco se encuentre en la parte más honda de la ola, y sube entonces por el mástil hasta un punto desde el cual enfila la cresta con el horizonte: la altura marcada en el mástil es la que se busca. Pero es óbvio que entre las imperfecciones de semejante método está la de suponer la verticalidad del mástil en el momento de la observacion (2).

A pesar, pues, de no poderse establecer reglas sobre el límite de la altitud, los autores parecen convenidos en no dar á las olas una altura mayor de 8 á 9 metros, contados desde la convexidad á la concavidad de la undulacion. De vez en cuando, no obstante aparece algun marino de nombradía á turbar esta conformidad de convencionalismo, produciendo alturas más considerables; pero, ya sea que se admitan, ya sea que se contradigan los nuevos datos, hoy se sabe ciertamente que son expresiones poéticas correspondientes á ilusiones ópticas de los náufragos las clásicas hipérboles en que se habla de

«Las montañas de agua se-movientes.»

Para que el lector pueda juzgar por sí mismo de la disparidad de los datos, he formado el estado que sigue á continuacion, con antecedentes en su mayor parte extractados de la gran obra de Cialdi (3).

---

(1) La observacion de las olas presenta más dificultad de lo que á primera vista pudiera pensarse, cuando el mar está muy agitado, y nada aparece regular en él, ni en forma, ni en intervalos, ni en velocidad. A veces una ola parece parada, á veces retrogradar, y, frecuentemente, cuando el observador la está siguiendo con más atencion, se le desaparece en un instante. De este fenómeno, generalizándolo, ha tratado Osborne Reynolds en la Seccion *A* de la Sociedad Británica.

(2) P. de la Sala, *Constr.*

(3) *Sul moto ondoso del mare;* y *Nature*, 18 marzo y 8 abril 1875.

*Altura desde el fondo á la cresta de las mayores olas observadas en el Atlántico.*

| OBSERVADORES. | Altura. | Amplitud. | Velocidad. | LOCALIDAD. |
|---|---|---|---|---|
| FITZ HOY | 18 á 20m | 200m | | Costa Cantábrica. |
| EL ARGONAUTA | 30 á 42 | | | Barbadas. |
| DOUGLAS | 7 | 220 | 15m por segundo. | Faro Bishop's Rock. |
| SCORESBY | 15 | 230 | | Atlántico. |
| NOVARA | 9 | | | Promontorio del Cabo. |
| Un observador francés | 11 | | | Bahía de Vizcaya. |
| WILKES | 10 | 116 | 12 por segundo. | Pacífico. |
| JOHN ROSS | 12,2 | | | Cabo de Buena Esperanza. |
| DE GOIMPY | 13,2 | 62 | 8,12 segundo. | |
| LA COUDRAYE | 8 á 10 | más de 4 veces la altura. | | |
| BREMONTIER | 20 | 4 × altura. | | |
| BARRON | ......... | ............ | 1/4 velocidad del viento. | |
| D'URVILLE | 30 | ............ | ............ | Sur de Africa. |
| HUMBOLDT | 11 | | | |
| ARAGO | 6 á 8 | | | |
| MARESCOT et GOURDIN | 11.50 | | | |
| GERVAIZE et DESGRAZ | 12 | | | |
| DUMOULIN | 12 | | | |
| VIONNOIS | ........ | 300 | 13m por segundo. | |
| VIONNOIS | ......... | 400 | 20 id. | |
| GOURDIN | 11 | 100 | | |
| Oficialidad del *Inconstant.* | 18,90 | | | |
| DE TESSAN | 6 á 8 | 100 á 150 | | |
| W. H. WOLLASTON | | | 27 segundo. | E. de Inglaterra. |
| HOPE, SMITH y otros | 3 á 4,5 | | | Canal de la Mancha. |
| THOMPSON | | | 9 segundo. | Cabo de Buena Esperanza. |
| BACK | 9,14 | | | Bahía de Hudson. |
| ANDEW LANG | 13,71 | | | Latitud 26° 54 N., longitud 20 O. Greenwich. |
| WALKER | 8,14 | | 9,3 segundo. | Bovissand. |
| CLARKE ROSS | 6,71 | 581 | 39 segundo. | |
| MISSIESSY | 13 á 15 | | | Azores. |
| CIALDY | 10,25 | 158 | 7,4 segundo. | Bahía de Vizcaya. |
| FLEURIOT DE LANGLE | 30,4 | | | Latitudes Polares. |
| DUSSARD | 15 | | | Rochebonne. |
| GUIDE DU MARIN | | 400 | 18 segundo. | |
| Marineros franceses | | | 27 segundo. | Bahía de Vizcaya. |
| BLACK | | | 10 segundo. | S. Océano Indico. |
| W. W. KIDDLE (1) | 33 | 338 | 7 segundo. | Trou du Diable. |

(1) Estas observaciones han sido objeto de discusion en *Nature*, Abril, 8, 1875. J. W. BLACK ha dado el siguiente diagrama en el *Nature* de 8 de abril de 1875, con arreglo á las observaciones de SCORESBY. La escala es de 600 piés ingleses de cresta á cresta, 30 piés de altura, y 220 piés de eslora en el vapor; de modo que la proporcion entre la amplitud y la altura es

$$\frac{600}{30} = \frac{20}{1}$$

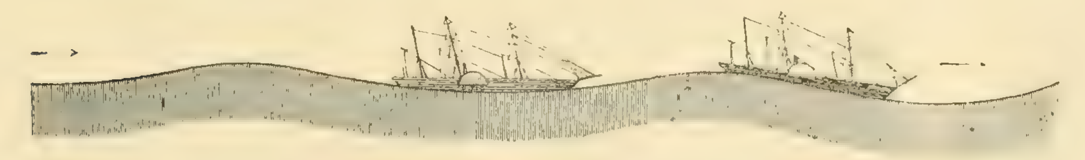


Fig. 56.

## VIII.

Excusado es decir que cuando una ola de alta mar se convierte en onda de translacion sobre una playa (que, por no existir influencias de las paredes laterales, puede considerarse como un canal rectangular) su velocidad es la que tendria un cuerpo que hubiera caido, desde el reposo, una distancia igual á la mitad del espacio contado desde la máxima altura de la ola hasta el fondo de la playa.

Excusado igualmente es el manifestar que la velocidad de la marea (dependiente solo de la profundidad del fondo, si la hipótesis Russelliana es una verdad) diferirá mucho generalmente de la velocidad de las olas de alta mar, dependiente sobre todo de la fuerza del viento.

Efectivamente: pocas veces son iguales una y otra velocidad. En alta mar, ante la velocidad de 500 y 600, y hasta 900 kilómetros de la marea, es insignificante la de 50 kilómetros observada por Scoresby en las olas del Atlántico. Pero cerca de las costas las olas pueden alcanzar, y alcanzan á veces, á la marea, cuya velocidad disminuye con el fondo. En el rio Dee observó Scott Russell que la marea caminaba con la velocidad de 6,4 millas por hora, al paso que la ola (oscilatoria y superficial), procedente de alta mar, avanzaba con la de 14,6 (1).

(1) Ya vimos (libro I) que el pororoca puede acrecentar sus estragos cuando las olas de alta mar alcanzan á la onda de la marea y le pasan por encima, y que los barcos están relativamente seguros donde la profundidad del estuario es bastante mayor que en las orillas.

# CAPITULO II.

## PODER DINÁMICO DE LAS OLAS DE TEMPESTAD.

I.

Las olas no se extienden á considerable profundidad. Son esencialmente superficiales; y éste es uno de los caractéres que distinguen á las olas gregarias de la onda solitaria, la cual actúa desde la superficie al fondo.

Fundándose en que de $5^m$ á $6^m$ está tranquila el agua del mar, ha propuesto y realizado Courtenay una valiza silbadora, cuyo silbido se oye á 9 millas bajo el viento, á 3 contra el viento, y á 6 con el viento atravesado. Un cilindro vertical *T* penetra en el agua inalterable; otro cilindro *a b*, ajustado en éste á rozamiento suave, se eleva hasta la region de las olas: en el extremo superior de este cilindro está la valiza *V*, la cual, con el oleaje, hace subir y bajar el segundo cilindro *a b* dentro del primero: el segundo cilindro tiene un tubo *b*, que termina en un pito *P* de locomotora, y otro ú otros tubos con válvulas, que se abren al subir y se cierran al bajar; al subir se llena de aire el segundo cilindro: al bajar se cierran las válvulas, el aire se comprime, y el pito suena. Varias valizas contíguas pueden hacer sonar notas diferentes, é indicar con acordes especiales, determinados parajes en medio de las brumas ó la noche.

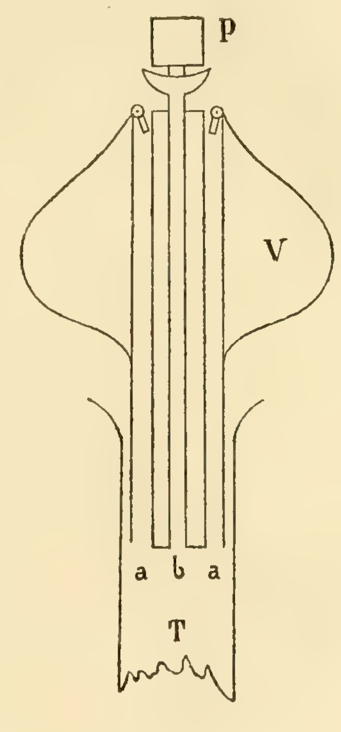


Fig. 57.

El Mayor General Palsby (1) asegura que en la extraccion del *Royal George* trabajaban los buzos sin molestia á la profundidad de $28^m$, lo mismo con buen tiempo que con temporales, al paso que costaba gran trabajo luchar contra las corrientes de marea. Lo mismo asegura respecto á la extraccion del *Edgar*, más difícil aún. Y Coode, encargado de reconocer el rompeolas de Portland, no encontró que los deterioros se extendiesen más abajo de $5^m$ (2).

---

(1) Perez de la Sala, *Construcciones en el mar.*

(2) Id., *id. id.*

Pero contra estos datos y estas aseveraciones aparecen otros datos inconcusos (1).

De observaciones hechas en la rada de Argel por Aimé, se deduce que en una mar medianamente agitada, es decir, cuando la ola cuenta desde el fondo hasta la cresta de 1,30 á 1,80$^m$, el movimiento de las moléculas es muy apreciable á la profundidad de 12 á 15$^m$; y con mares gruesas la agitacion no deja de ser sensible hasta la profundidad de 40$^m$ (2).

Forbes asegura haber visto repetidas veces en el Norte de Inglaterra lanzadas vivas á las costas, conchas que solo viven en 14$^m$ metros de agua. El vapor *Pegaso*, ido á pique en la costa de Northumberland, con 22$^m$ de agua, quedó deshecho por una fuerte tempestad del Norte (3).

Y tambien para que el lector pueda juzgar por sí, he formado el estado siguiente, extractando principalmente del copioso arsenal de Cialdi (4).

---

(1) Scott Russell sugiere si la velocidad de las olas correspondientes al sistema oscilatorio será funcion de la profundidad hasta donde llega la agitacion que ellas causan. ¿Será acaso proporcional á una fraccion de la distancia agitada?

(2) La Sala, *Construcciones en el mar.*

(3) Id., *id. id.*

(4) Cialdi, Sul moto ondoso del mare.

*Olas que rompen con el fondo que expresa este estado.*

| OBSERVADORES. | Localidad. | Profundidad. *Metros.* |
| --- | --- | --- |
| Picquet......... | Bahía del Geógrafo.................. | 12 |
| Monnier......... | Loup Sainte-Marie (Martinica)........ | 10 |
| Id.............. | Aroca, Golfo de Gascuña.............. | 26 |
| Rocquefeuil...... | Anse des Amis, A. S. Pacífico......... | 33 á 49 |
| Minard.......... | Arta, San Juan de Luz................ | 9 á 30 |
| Horsburgh........ | Barra de Lisboa...................... | 13 |
| Legendre........ | Istapa, Goatemala.................... | 17 á 20 |
| Lartigue........ | Guiana............................... | 15 á 17 |
| Vidal........... | Porto Santo, Madera.................. | 20 á 31 |
| Givry........... | Cardonnet, Sena...................... | 10 |
| Id.............. | Aurigny.............................. | 14 |
| Id.............. | Banco Mauricio....................... | 13 |
| | Frettes Guernesey.................... | 20 á 23 |
| | Roca Serrata, Terceira............... | 48 |
| Tofiño.......... | Punta Mosteiros, Isla San Miguel....... | 11 |
| Kerhallet....... | Isla Sabbia.......................... | 18 á 24 |
| Id.............. | Isla de Buck (Antilla)............... | 10 á 18 |
| Id.............. | Banco de los Escribanos, Portobello..... | 9 á 13 |
| Id.............. | Cayo Arenas, Costa de Méjico......... | 32 á 48 |
| Id.............. | Costa Oeste de Africa................ | 5 á 10 |
| Moulat.......... | Isla Lundy........................... | 11 á 13 |
| Id.............. | Jowan, Canal de Bristol.............. | 8 |
| Calver.......... | Shettland............................ | 13 |
| Id.............. | Outskerries.......................... | 18 |
| | Hillswich Ness....................... | 18 |
| Thomas.......... | Rackwick, Orcades.................... | 22 |
| Id.............. | Tafts Ness........................... | 18 á 2 2 |
| | Nord Ronaldsha....................... | 22 |
| | Banco Cuthe.......................... | 18 |
| Legras.......... | Isla Robben.......................... | 9 á 18 |
| Id.............. | Luaña, Norte de España............... | 25 á 30 |
| Id.............. | Torriente, id........................ | 22 á 30 |
| Id.............. | Punta del Dichoso, id................ | 30 |
| Id.............. | San Pedro, Cabo Mayor................ | 18 á 22 |
| Id.............. | Banco Doble, Norte de Berria.......... | 18 á 24 |
| Id.............. | Banco Castroverde, Punta Rabanal...... | 46 á 57 |
| Id.............. | Banco Riy............................ | 11 á 25 |
| Id.............. | Bahía Struys (Costa Sur Africa)........ | 12 á 14 |
| Perez de la Sala. | Barra del Adour...................... | 32,5 |
| Id.............. | Socoa................................ | 13 |
| Id.............. | Castro, cerca de Rivadeo............. | 30 |
| Id.............. | Peton, cerca del Busto............... | 60 á 80 |
| Id.............. | Serron, id. id....................... | 120 |

Las barras de los rios se explicaban antes por la deposicion de las materias acarreadas con las aguas fluviales, á su encuentro con las más pesadas del mar. Hoy, en muchos casos, se ha comprobado que las aguas fluviales, más ligeras que las marítimas, pero en movimiento, empujan y se llevan por delante las de la superficie del mar; pero, en contra, junto al fondo, por causa de la mayor densidad del agua salada, se establece otra corriente poderosa de esa agua salada en opuesta direccion á la superficie, efecto ineludible de la presion hidrostática y del natural restablecimiento de equilibrio; y esta corriente del fondo, y exclusivamente del fondo (ó desde el mar hácia tierra), es la acarreadora de los materiales que constituyen la barra.

## II.

¿Habrá medio de conciliar tantas contradicciones?

¿Qué es la marejada?

Con mucha frecuencia existe formidable agitacion en el mar, sin viento aparente que la cause. Esta turbulencia suele ser efecto de temporales distantes, que muchas veces se hacen sentir luego (lo que, sea dicho de paso, prueba que el mar transmite sus perturbaciones con más velocidad que la atmósfera las suyas) (1).

Otras veces la marejada se presenta en el fondo, sin grande agitacion aparente en la superficie, en cuyo caso se denomina la turbulencia *mar de leva* ó *de fondo*, y tambien se la llama *mar sorda,* especialmente si se transmite en direccion contraria á la del viento (2).

La direccion de la marejada no es, pues, precisamente la de los vientos reinantes ni la de los dominantes, sino la de la mayor línea de agua, ó sea la de los vientos tempestuosos. En el Norte de España la direccion de la marejada es, por tanto, la que corresponde al Noroeste.

La marejada se considera por los marinos é ingenieros como más peligrosa que la mar de viento, porque hace trabajar las embarcaciones, ocasiona rompientes donde ordinariamente no rompe la mar, y ataca los cimientos de las obras (3).

Para juicio del lector he formado el siguiente cuadro de la potencia de destruccion del mar á grandes profundidades, tomando los datos de Cialdi, de Perez de la Sala, la *Révue Maritime*, el *Nautical Magazine* y otros.

---

(1) Así, en nuestra costa Norte, el cerrarse de repente todos los puertos con mares gruesas y rompientes contínuas, es una señal segura de temporal á las 24 horas siguientes. (La Sala).

(2) (3) La Sala, *Construcciones en el mar.*

*Efectos destructivos. Masas movidas por el mar.*

| OBSERVADORES. | Localidad y fecha. | Peso, espacio, y altura, etc. |
|---|---|---|
| LYELL | Hurstcastle, nov.$^{bre}$ 1842. | Banco de guijarros, $70^{m}$ largo, 4 alto. |
| FRISSARD | Entre La Rochela y Roquefort | Barco lanzado en medio de un prado. |
| WHIDBEY | Havre de Gray | Banco de arena. |
| SMIT HAMILTON | Punta Brava, 1807 | Bloques sacados de $10^{m}$ de profundidad. |
| ZURCHER y MARGOLLÉ. | Islas Mauricio y Reunion | 12000 piés cúbicos de piedra irregular. |
| STEVENSON | Isla Barrahead, 1836 | Bloque de 42 ½$^{ton}$, movido $1^{m}$,5. |
| MINARD | Fort Boyard | Id. de $15^{m^3}$ movido $2^{m}$. |
| EMY | Rochela | Bloque de $28^{ton}$ movido 0,6. |
| DE QUATREFAGES | Bréhat | Bloque de muchos cientos de miles de kilógramos (1). |
| LYELL | Bell Rock | Ancla de 1117 kilógramos lanzada á lo alto de un escollo. |
| | Plymouth, noche del 25 al 26 de Diciembre 1852. | 8000 toneladas de escollera fueron lanzadas al interior del dique: entre ellas habia bloques de 10 á $16^{ton}$. |
| BONIN | Cherburgo, 25 dic.$^{bre}$ 1836. | 200 bloques, entre ellos los habia de $3^{ton}$, lanzados por encima del dique á $6^{m}$ altura. |
| ID. | Id. 1842 | 1000 bloques pasaron sobre el muro. |
| ID. | Id. | Bloque de $13^{m^3}$ movido. |
| ID. | Id. 1848 | Bloque de $20^{m^3}$, movido $13^{m}$ y alzado á $2^{m}$. |
| | Id. 1866 | Bloques de $3^{ton}$ levantados $8^{m}$ verticalmente, y algunos arrojados dentro del dique. |
| DICKINSON | Cabo Frio, noviembre 1831. | La fragata *Thetis* deshecha á $22^{m}$ bajo el agua. |
| MAX E. SCHMIDT | Barra del Mississipi, 1878. | Bloques de $2^{ton}$ arrojados por encima de la escollera al otro lado de la misma. |

(1) Un bloque de granito de muchos cientos de miles de kilógramos, desprendido en una tempestad de lo alto de la costa, descansa, como un puente macizo de una sola pieza,

WALKER y CIALDI estiman que la fuerza del agua es proporcional al cuadrado de la velocidad.

FRISSARD cree que la potencia de destruccion puede estimarse en $30^{ton}$ por metro cuadrado.

Merecen especial mencion los casos siguientes:

En el Estrecho de Bonifacio, frente á la isla desierta de Lavezzi (Mediterráneo), existe una roca, tajada á pico y cubierta por unos pocos piés de agua, contra la cual chocó á principios de 1855, en medio del dia, la *Sémillante*, procedente de Tolon, con tropas para Crimea; la fragata se hizo enteramente trizas; y en el naufragio pereció más gente que en ningun otro que recuerda la historia de un solo buque. Despues de varias tentativas infructuosas para avalizar el escollo, se levantó sobre la roca una maciza torre en 1869; pero en 1875 fué arrancada de cuajo de sus firmes asientos y precipitada en el abismo.

El faro de Krishna, cuya base era de casi 200 metros cuadrados, desapareció, no se sabe cómo, á fines de 1877.

Un notable efecto de las olas del mar sobre las construcciones ha ocurrido en el rompe-olas de Wick (Inglaterra). La altura de las olas en esta localidad fué medida y estimada repetidamente en un máximo de 42 piés ($12^m$,8) (contados de la cresta al fondo de la ola). Como piedras de 8 y 10 toneladas fuesen arrebatadas por estas olas, y en las tormentas subidas desde el parapeto hasta lo alto del malecon, se decidió construir la extremidad exterior de este rompe-olas depositando 3 hiladas de sillares, de 100 toneladas cada uno, sobre un fondo de conglomerado, para que sirviesen de cimiento á otras 3 hileras de extensas piedras chatas, coronadas por un monolito artificial de grava conglomerada, elaborado allí mismo. El peso de este monolito pasaba de 800 toneladas. Pues, por increible que parezca, esta mole monolítica sucumbió á las olas. El ingeniero allí residente la vió en una tormenta irse moviendo á los golpes de mar, hasta que, finalmente, fué removida y arrojada al interior del malecon; y no solo la parte superior, sino tambien las 3 hiladas inferiores de piedra, que formaban una masa de 1350 toneladas, fué removida sin romperse (1).

---

entre los dos bordes de una sima cavada por el mar. En las tormentas las olas se acumulan bajo el puente, lo levantan, y teniéndolo suspendido, pasan por debajo, y al retirarse, lo dejan caer sobre sus estribos, para volver de nuevo á suspenderlo y dejarlo caer. ¡Hecho y testimonio solemne! exclama CIALDI.

(1) Mi querido amigo Sr. D. CESÁREO CERERO, consultado por mí sobre la caida de un enorme trozo de la muralla de Cádiz batida por el mar del Sur, me dice lo que sigue:

«Mucho gusto tendria en poder facilitar á V. los datos que me pide referentes á la caida del trozo de muralla detrás de la plaza de toros: no soy yo, sino mi hermano RAFAEL, quien los tiene; pero diré lo que sé.

»La mañana del 18 de abril de 1855, poco despues de la primera pleamar, cayó, girando sobre su asiento, el lienzo de muralla comprendido entre el ángulo de San Nicolás y el primer saliente del recinto, inmediato á la plaza de toros. La brecha que resultó en aquel momento era de 80 metros de abertura, poco más ó ménos; habia temporal y viento de Sudoeste, cuya intensidad no sería ahora fácil precisar, porque nadie entonces cuidaba de registrarla.

»Recuerdo que la conmocion causada por

En las costas de Chile y del Perú acontece algunas veces el fenómeno de retirarse de las playas el mar, y volver despues, como una ola inmensa que inunda las costas con tremendo ímpetu y fuerza incontrastable, traspasando los naturales límites y destruyendo cuanto encuentra.

En Europa este fenómeno es raro. Tengo entendido que se experimentó en Cádiz en 1755 cuando el gran terremoto de Lisboa. Los viejos, á quienes yo lo oí referir, decian que las aguas se habian juntado, porque las del Atlántico penetraron en la bahía pasando por encima de la cinta de tierra que une á Cádiz con el resto de la isla. El Sr. FERNANDEZ FONTECHA llama á este fenómeno *mar desbordada*, y lo explica por los temblores de tierra y los terremotos: cuando el suelo se eleve, las aguas parecerán retirarse; y, cuando se deprima, será por ellos inundado con violencia inaudita.

## III.

La mar de fondo es un fenómeno verdaderamente inexplicado, pero de cuya existencia no es lícito dudar.

Acaso la dificultad consista en haber querido referir todo cuanto ocurre en el mar á las teorías undulares, y en haber desatendido más de lo justo las indicaciones, hechas ya por observadores insignes, respecto á otra clase de efectos, de carácter dinámico puramente.

En Cherburgo, por medio de robustos malecones hechos de maderos clavados en tierra, quedó estancada una gran masa de agua del mar; de manera que las aguas constituian como un lago. Para ver cuáles eran los efectos del rebote de los

---

la súbita caida de masa tan considerable, se hizo sentir en muchos puntos de la poblacion, llegando el local terremoto á la plaza de San Juan de Dios, calle de la Compañía, etc., etc. Creo que más que la conmocion, asustó el estrépito de la caida, transmitido fácilmente por el gran canal de la calle de San Juan de Dios, favorecido por la direccion del fuerte viento.

»La longitud actual de la obra nueva, no sirve para determinar la longitud del trozo desplomado, porque el Ingeniero Sr. SIERRA conceptuó preciso agrandar la brecha para cerrarla desde la parte intacta del malecon. Sin embargo, calculando la longitud del macizo en $80^{m}$, la altura en $17^{m}$ (desde fuera de los cimientos, gran parte de los cuales quedó desarraigada), y el espesor medio de la mole en $4^{m}$, bien podemos creer que el mar puso en movimiento, ó por lo ménos determinó la caida de $5500^{m3}$ ($80 \times 17 \times 4 = 5440$) de una mole maciza por su conglutinacion; y, tomando solo como igual á 2 la densidad de la fábrica, creo que no hay exageracion ninguna en decir que, sin contar el desprendimiento de tierras, cayeron al mar de repente $11000^{ton}$ de piedra en un solo macizo, el cual inmediatamente se hizo pedazos al caer (ménos de 20 trozos grandes resultaron, haciendo abstraccion de las lascas y trizas de los bordes).

»El movimiento de las tierras fué enorme, pues bien recordará V. que, pocos dias despues de la caida, se hallaban al descubierto obras antiquísimas y piedra viva (antes de la caida cubiertas por la fortificacion) las cuales contuvieron afortunadamente las irrupciones del mar, hasta que se empezó por SIERRA y mi hermano RAFAEL, la notable obra de la restauracion de la muralla.

»Quisiera poder dar á V. más detalles, pero no los tengo, etc.»

modernos proyectiles de gruesa artillería, se dirigieron varios disparos hácia el centro del lago: los proyectiles efectivamente rebotaron, pero los malecones quedaron desguazados y destruidos. ¿Puede este formidable efecto explicarse por las teorías undulares? Tanto la onda de translacion, cuanto las gregarias undulantes, son impotentes para dar cuenta de semejante destruccion. Pero á mí me parece que pudiera decirse: no habiendo tiempo para la formacion de ondas, el balazo, en virtud del principio de igualdad de presion en los líquidos, extendia su golpe, como en una gigantesca prensa hidraúlica, á toda el área de los extensos malecones; y ¿qué extraño, pues, que el resultado fuese tan terrible?

La potencia de un huracan es irresistible. La infernal furia de un tornado no reconoce rivales. Parece como que una personificacion de todos los estragos, arrastra, y aplasta y destruye cuanto encuentra en su vertiginosa carrera de dislocadas contorsiones. Suprime el dia en noche negra; troncha los árboles de siglos, arrebata los techos, derriba las casas, seca los rios, descuaja las rocas: la atmósfera se convierte en un espantoso escuadron á escape de ruinas y escombros voladores; y hombres, y ganados y cosechas desaparecen en el torbellino, ó caen, como heridos del rayo, por vigas, troncos, ramas y peñascos, convertidos por el ciclon en improvisados arietes..... Pero pasa el huracan..... y el sol brilla sobre una increible transformacion: antes lucía sobre cosechas, bosques, casas, palacios y ciudades, y á los cinco minutos luce, y luce sobre regiones de la devastacion y de la muerte.

Supongamos una furiosa ráfaga de las que arrancan árboles de cuajo, abatida repentinamente sobre el hueco de una ola huracanada: ¿no es óbvio que la presion instantánea del viento se extenderá á gran distancia, como si fuera el choque de un inmenso proyectil? (1)

---

(1) Desde lo alto del puente de Sta. Eulalia cerca de Cangas de Tineo, suelen los habitantes cazar las truchas del rio, por serles eso mucho más fácil que pescarlas. Poco despues del disparo, la trucha á la cual han tirado, aparece muerta sobre el agua. El que no está al tanto de la causa de la muerte, admira la supuesta destreza de los cazadores, maravillándose de que jamás yerren un tiro; y, sin embargo, bien poca destreza se necesita para matar así peces, á los cuales nunca dan las balas. El animal muere porque el poderoso impacto del proyectil sobre el agua se transmite al pez, seguramente en virtud del principio de Pascal.

Además, en muchos puntos del Norte de España se ha establecido la bárbara industria de matar los peces por medio de cartuchos de dinamita. Claro es que la conmocion producida por la explosion es la que mata á distancia á los animales, por cierto en cantidad mayor de la que los pescadores pueden luego recoger y conservar.

El general austriaco Uchatius, inventor de los cañones de bronce fosforado, leyó en una de las novelas de Julio Verne, que uno de los personajes, vestido de una escafandra, mató, desde el fondo del mar, con un fusil de aire, un albatro que se cernia sobre el agua; y, queriendo Uch. averiguar hasta dónde podia esto ser verdad, mandó construir una balsa, bajo la cual colocó horizontalmente un fusil, á medio metro bajo el nivel del líquido: á la distancia de metro y medio de la boca del arma, dispuso una tabla de 1 pulgada de espesor, y, hecho el disparo, resultó que la bala no llegó á la tabla: á $1^{m},25$ las balas producian una huella de 4 milímetros de profundidad. A $1^{m}$

Franklin cita un ejemplo notable de la fuerza del viento.

En una laguna de 13 ½ kilómetros de ancho y $1^m$ de profundidad, un viento huracanado dejó en seco toda una márgen, elevando el nivel en la opuesta á casi 1 metro sobre el primitivo (1). ¿Qué obra de arte hubiera podido resistir el efecto subitáneo de esta irrupcion de las aguas?

Varios autores creen (y Cialdi agrega *è cosa certissima*) que la enorme percusion recibida por la superficie del mar en los grandes golpes de viento, se repercute necesariamente hasta el fondo..... ¿Cómo maravillarse, pues, siendo esto así, de que á grandes profundidades se encuentren colinas de guijarros, no movidos ni arrastrados por la accion de corrientes, que no existen en aquellos parajes?

De hechos (tal vez excepcionales) se deduce que en las tempestades la arena se remueve á profundidades, por lo ménos de 30 á $40^m$ en el Adriático, de 40 á $50^m$ en el Mediterráneo, y de 150 á $200^m$ en el Océano (2).

Y ¿no ha de poder el efecto mecánico de los golpes de viento, independientemente de toda undulacion, ser bastante á tal efecto?

Por otra parte, es incuestionable que en el mar hay grandes movimientos (que no constituyen corriente) en cuya virtud se verifica el transporte de considerables masas líquidas arrastradas por el viento en los recios temporales hasta grandísimas distancias (3).

Si el viento en los desiertos africanos levanta verdaderos oleajes de arena capaces de sepultar las caravanas; si todo el que ha viajado por arenales, dunas, landas y estuarios en seco, ha tenido ocasion de admirar portentosos acarreos, que corren horizontalmente como serpientes colosales de centenares de metros, á constituir respetables colinas de arena: ¿cómo es que, despues de la obra de Cialdi, no reconozcan todos los autores que en el mar hay inmensos transportes de agua, que no constituyen onda ni corriente, pero que, consistiendo en formidables estepas hidráulicas animadas de enorme velocidad, han de causar ruinas portentosas cuando caigan como avalancha sobre un punto cualquiera, por defendido que esté? (4)

---

ya la atravesaban. Con un revólver de municion, á $1^m$ de distancia no resultaba efecto; á ¾ de metro, la bala producia una huella de 4 á 6 milímetros; y á ½ metro, la tabla quedaba atravesada. El revólver, pues, no sería recurso eficaz para un buzo á quien atacase un tiburon. El general, tirando desde la orilla, no pudo atravesar la plancha sumergida y colocada verticalmente á $10^m$ de distancia de la boca del fusil, cuando la bala tenia que atravesar más de $0^m$,30 de agua; de manera que desde el aire al agua es el tiro todavía ménos eficaz.

(1) Perez de la Sala, *Construcciones.*

(2) Delante de Dunkerque, y á gran profundidad, se han dosificado 3 centímetros cúbicos de arena en 6 litros de agua. Más todavía se ha analizado en el Cabo de Buena Esperanza.

(3) Por esto las olas, además del movimiento oscilatorio, tienen uno muy lento de traslacion en el sentido de la ola. Ya Scott Russell habia hecho esta observacion. Este es ciertamente *the drift of the sea* de Maury.

(4) Cialdi, en su monumento *Sul moto ondoso del mare*, deja fuera de duda la existencia de este transporte de las moléculas de agua, verificado por los vientos, con tal in-

Un cambio brusco en la profundidad, por efecto de un escalon ó resalto en el fondo, puede perturbar gigantescamente el movimiento de una gran masa de agua, y esta perturbacion hacer sentir su accion en la superficie desde grandes profundidades. Y ¡cuánto no aumentará el efecto la reaccion del fondo contra el golpe de ariete de una racha repentina! ¿Cómo negar los efectos del viento, cuando es de experiencia que exagera á veces peligrosísimamente la altura de la marea, y en algunos casos, detiene casi el descenso de la bajamar (1), ó bien la anula?

Los contornos del mar sobre los bancos, como el de Terranova en el Atlántico, y el de Cherchene (en francés *Les Seches de Querquenis*, 30 leguas Sur, 1/4 S. E. del Cabo Bon) en el Mediterráneo, están muy alterados en los temporales, mientrás que el agua situada al centro de los bancos se halla tan tranquila que sirve en alta mar como de puerto de bonanza á los navegantes, quienes hallan en la pesca solaz y compensacion. Tales fenómenos en los bordes de los Bancos serían inexplicables, sin suponer trasladada á 100 metros de profundidad la accion de las contínuas turbulencias que acaecen en la superficie de los mares.

En el mar, pues, hay multitud de causas para los tumultos y conflictos de que es contínuo teatro. Hay ondas de translacion, ondas de oscilacion, corrientes de agua fria, corrientes de agua caliente, transporte de moléculas de agua por la accion de los vientos..... Al observador filósofo toca no confundir las causas; asignar á cada una sus efectos inmediatos; buscar á cada efecto génesis adecuada; no censurar una teoría que explique cierta clase de numerosos fenómenos, precisamente porque no dé razon de aquellos que de ella no dependen; ni tampoco, al tratar de conciliar ciertos fenómenos, desnaturalizar los hechos, sino admitirlos como son en sí.

---

tensidad, que suele hacer invisible el horizonte (como es patente á cuantos han vivido orillas del mar), y le atribuye los errores de estima en la navegacion, las extravagancias de fuerza y direccion en parajes de corrientes conocidas, el *incógnito movimiento de transporte*, notado por COURTANVAUX; el *agente oculto*, designado por MACARTE; la *hasta ahora ignorada, pero fatal corriente*, de PIDDINGTON; el *imprevisto misterioso impulso*, de HALL; *la ganancia de flujo*, de KELLER; los acarreos de arenas y de fangos, los cambios de las barras, las erosiones de las costas, y tantos otros fenómenos esporádicos, á los cuales es preciso asignar causa, pero de ninguna manera causa permanente y contínua. Su obra, indispensable á todo ingeniero, concluye con la designacion de medios para evitar los aterramientos ó favorecerlos, y con aplicaciones á la Náutica y á la Hidráulica. Para CIALDI los aterramientos dependen de los vientos dominantes, y no de la direccion de las corrientes litorales.

(1) Los vientos del Norte producen grandes mareas en el Támesis, etc. Un viento impetuoso acumuló en 1824 tanta agua en el golfo de Finlandia, que inundó á San Petersburgo. Vientos del N. O. han solido inundar las calles de la ciudad del Cabo de Buena Esperanza. Cuando sopla el pampero, el agua se eleva muchos piés en Montevideo y Buenos-Aires. En 1772 la mar se elevó, por virtud de un huracan, 70 piés sobre su nivel habitual. No son raros los ejemplos de barcos transportados algunas millas tierra adentro, etc., etc. (Véase CIALDI.)

¿Es de observacion que las olas no agitan el mar en muchas ocasiones, sino á muy corta profundidad?—Sí.—¿Es tambien de experiencia que las agitaciones de la superficie se hacen sentir á grandísima profundidad?—Sí, tambien.—¿Habrá medios de conciliar datos que parecen contradictorios?—Perez de la Sala dice: «Si bien las olas formadas en la localidad hacen sentir su accion á pequeña profundidad, no sucede lo mismo con la marejada que se transmite de largas distancias, con el tiempo y el espacio suficientes para comunicar su movimiento desde la superficie á las capas inferiores..... El dragado de las algas y las conchas del fondo provenga quizás de violentas corrientes, que por circunstancias de la localidad se desarrollan en ocasiones. Una vez desprendidas, ya es fácil el transporte á puntos en que la velocidad resulte pequeña.»

## IV.

Sea, pues, por efecto de la percusion de las ráfagas del huracan, sea por la accion de corrientes accidentales y desconocidas, ó por el acarreo de grandes masas de agua que perturben el equilibrio hidrostático, á virtud de notables diferencias de nivel (1) en dilatadas zonas, ó bien por efecto de la marejada ó de las ondas de translacion bajo las gregarias, ó por otras razones no descubiertas aún....., ello es indudable que las olas suelen romper con grandísimos calados, y que el poder de destruccion de los movimientos del mar es verdaderamente asombroso, aun para los que están acostumbrados á presenciar sus furores.

Si se tratara solo de las olas, su poder de destruccion debia ser directamente proporcional á la altura de la cresta, y llegar á su máximo en el momento de romperse: por esto se estimaba la fuerza destructora del oleaje en 10 toneladas por metro superficial.

Pero los resultados de las últimas bien comprobadas experiencias han desconcertado todos los cálculos; y ya el lector habrá formado su juicio al examinar el estado último. En la barra del Mississipí se están ahora empleando piedras artificiales de 72 toneladas de peso. ¡Tanto exigen los escarmientos anteriores! ¡En Queenstown Harbor se colocan de 120 toneladas! ¡En Dublin de 150!

## V.

Ahora bien: si los vientos son la causa principal de las olas, ¿cuál es la naturaleza dinámica del oleaje?

La evaporacion de las aguas, la de los mares ecuatoriales, especialmente la

(1) Las lluvias pueden depositar en un dia 2 y 3 centímetros de agua sobre muchos miles de leguas cuadradas.

calefaccion de la atmósfera por el sol, y el enfriamiento de las capas aéreas que no reciben ese calor, juntamente con la condensacion del vapor de agua en las cimas de los montes, son las causas principales de los vientos (1).

El sol, pues, es el agente primario de las convulsiones atmosféricas.

Aprovechar industrialmente las olas es, por tanto, consumir calor solar.

---

(1) La rotacion de la tierra contribuye á la direccion de los vientos. Aprovechar, pues, las olas, es tambien consumir rotacion de nuestro globo.

# LIBRO IV.

---

## ABUNDANCIA Y BARATURA DE LOS MOTORES HIDRÁULICOS.

# CAPITULO I.

## EL MOTOR HIDRÁULICO ACTUALMENTE RESPECTO DEL DE FUEGO.

---

Los motores hidráulicos, no solamente son los más abundantes, sino que resultan al mismo tiempo los más baratos.

Citaré algunos ejemplos solamente.

### I.

Hallo en un discurso de Cazin (1):

«Segun Tyndall, Inglaterra extrae de sus minas anualmente sobre 84 millones de toneladas de carbon, que representan 112 millones de caballos-vapor teóricamente; pero que en la práctica deben quedar reducidos á poco más de 4 millones de caballos, puesto que las máquinas de vapor solo utilizan el $^1/_{25}$.

»El Ródano, dando en sus fuentes, situadas á 1700$^m$ sobre el nivel del mar, 1000$^{m^3}$ de agua por segundo, contiene una potencia teórica de 23 millones de caballos-vapor, que, hechas las deducciones necesarias para obtener resultados prácticos, representa indudablemente el cuádruplo, cuando ménos, de la energía desarrollada por todo el carbon que Inglaterra arranca anualmente del seno de la tierra.»

Y el mismo distinguido Ingeniero dice en otro lugar del propio discurso: «Las minas de carbon no se renuevan, mientras que las corrientes de agua son inagotables..... Cada kilógramo de hulla que desaparece en una máquina de vapor, es una pérdida que desgraciadamente la industria nunca podrá recuperar..... Quemar carbon es gastar energía para siempre.»

Los hombres de más talento, pero ajenos á estas cuestiones de la dinámica, no pueden ni aun siquiera imaginar la fuerza de la potente máquina de nuestra atmósfera. ¡Cuántos se habrán complacido contemplando en los Pirineos la ingente catarata de Gavarnie, — la de más longitud en el mundo, pues su salto vertical mide 422$^m$! — Y, sin embargo, ¡cuán pocos habrán pensado en que cada metro cúbico de aquel agua, al caer de tan colosal altura, desarrolla nada ménos que 4500 caballos-vapor!

---

(1) *Revue des cours scientifiques*, núm. 298.

¡No hay sér humano en el mundo civilizado que no haya oido hablar de la catarata del Niágara, como objeto sublime de poesía; pero pocos la habrán considerado como objeto sublime de dinámica! ¡Y su solo salto de agua, segun cálculo que tengo á la vista (1), contiene en sí una energía superior, con mucho, á la de todo el carbon de piedra actualmente empleado como fuerza motriz en nuestro globo! — ¡Esta catarata se ha vendido á un caballero de Búfalo en 335000 pesetas, cantidad bien insignificante para fuerza tan colosal!

El Niágara es no solo la maravilla de las cataratas de la tierra, sino tambien la mayor concentracion de potencia existente en el mundo. Tal vez cause risa el propósito de convertir en dinero la más admirable de las escenas; y la idea de emplear la potente fuerza del Niágara en dar vueltas á las ruedas de la Industria pueda parecer mezquina á quien se olvide de que el distintivo del hombre y lo sublime de su dignificacion, está en hacer trabajar por él á las fuerzas naturales (2).

El genio americano no se satisface nunca con los vagos sueños de un propósito, sino que solamente goza llevando á la realidad las empresas que concibe. Aunque la gran aspiracion que se proponen los interesados en la utilizacion de la catarata, es convertir su inaudita potencia en aire comprimido para transmitirla despues á grandísimas distancias, sin embargo, y mientras no se ocurren los medios de verificar esta portentosa movilizacion, han edificado un molino gigantesco, que cuenta ya con la fuerza hidráulica de 2 turbinas especiales, una de 300 caballos y otra de 660, acaso la más potente de cuantas hoy funcionan en el mundo (3): el agua motriz se toma para el molino á $^1/_2$ milla de los Falls. El molino actual es solamente el inicio gigantesco de una série de edificios colosales, que harán dentro de poco por demás floreciente, y de nuevo famoso por su industria, al ya famoso por su sublimidad, afortunado distrito del Niágara.

Los terrenos auríferos de la California no podrian beneficiarse, á no ser por

---

(1) *Porvenir de la Industria*, núm. 123.

(2) Al reconocimiento de leyes siguen inmediatamente invenciones prácticas. Este es uno de los caractéres de nuestro tiempo, y á él se debe la más grande revolucion que se conoce en el arte de gobernar.

Antiguamente se hacia la guerra para tener esclavos. Un conquistador transportaba poblaciones enteras, y las sometia al trabajo forzado, porque solo el hombre podia inteligentemente ayudar al hombre en sus labores. Pero, no bien se vió con claridad que los agentes físicos y mecánicos podian emplearse con eficacia mayor, la política tuvo que cambiar de objetivo: desde el instante en que una nueva máquina ó un procedimiento nuevo fué más útil que un esclavo más, los productos de la paz se hicieron preferibles á la destruccion de la guerra. Y, no solo esto, sino que naciones como Rusia y América, poseedoras de gran número de esclavos y de siervos, encontraron razones económicas en apoyo de las de simple humanidad, y los emanciparon, aun á costa de enormes sacrificios. Vivimos, pues, en una época cuyo rasgo característico es la sustitucion de la máquina al trabajo del hombre y de la bestia. (J. W. DRAPER.)

(3) El peso ó la carga de agua es de $17^{m}$. El diámetro de la turbina mayor, $1^{m},37$. Id. de la id. menor, 0,915.

la gran baratura de los motores hidráulicos. Y, al decir baratura, ha de tomarse esta palabra en una acepcion eminentemente relativa, pues canalizacion ha habido que ha costado 2 millones de duros. El agua llega á los terrenos auríferos entubada bajo una carga de centenares de metros; y sale de las bocas de riego con una velocidad de 50 metros. Este continuado proyectil líquido desorganiza y disgrega los más refractarios bancos con una facilidad inconcebible; y, por este medio, cada tonelada de tierras deja una ganancia de 3 y 4 francos por lo ménos. La violencia del chorro es tal, que, si álguien intenta dividirlo dándole con un hacha, el hacha es arrancada de sus manos y arrojada á grandísima distancia.

II.

Indudablemente en los negocios pasa mucho de lo que ocurre con las artes, puesto que las excelencias de una obra no dependen tanto del asunto, como de la manera de tratarlo. Sin duda en todo mármol hay una Vénus, pero eso es si se encuentra al estatuario hábil que sepa echar á un lado el material supérfluo que esconde la encantada figura de la diosa. Dado que un procedimiento sea negocio, debe reconocerse que solamente será bueno para quien tenga el golpe de vista necesario, y la perseverancia que asegura y encadena al éxito; porque éxito sin inteligencia ni constancia, son términos que se excluyen.

Hay motores hidráulicos detestables, y muchos sujetos á graves cargos; por lo cual, para probar su baratura respecto de los de vapor, es necesario comparar los mejores de la una clase con los mejores de la otra. Ahora bien: si esto se hace, los datos más recientes no dejan duda de que la ventaja está del lado de los motores de agua.

Entre los resultados más dignos de fé figuran los comprendidos en la gran obra de Gérardin, titulada *Théorie des moteurs hydrauliques*.

Hé aquí un extracto.

*Canal de L'Aisne à la Marne. Instalacion.*

Las 5 turbinas (1) del canal de L'Aisne à la Marne costaron (pág. 257 de Gérardin):

| | | | |
|---|---|---|---|
| 5 turbinas................ *francos.* | | | 74000 |
| Fundicion de máquina.............. | 121357$^{k}$ | | |
| Hierros y aceros.................. | 59940 | | |
| Bronce y cobre rojo................ | 5011 | | |
| Fundicion hierro y bronce de respeto... | 19976 | | |
| *Peso total.....* | 206284 | *Precio* | 232000 |
| | | *Precio total.....* | 306000 |

Sale, pues, el kilógramo á 1$^{fr}$,125.

*Gastos de la alimentacion del canal de L'Aisne à la Marne.*

Estos gastos se descomponen así:

| | |
|---|---|
| Personal.................................. | 9300$^{frs}$ |
| Grasas y limpieza............................ | 5039 |
| Pistones y cajas de estopa...................... | 513 |
| Alumbrado y calefaccion........................ | 814 |
| Reparaciones de la maquinaria, canales y edificio... | 4333 |
| | 20000 |

*Notas.*

1.ª El sueldo del jefe maquinista es de 2200 francos.
El de un ayudante.................. 1500.
El de cada mozo, para dar la grasa, etc., 1000.

2.ª Los aceites y las grasas empleadas en las turbinas forman el gasto más considerable, porque la lubricacion más económica es la que se obtiene con las materias de mejor calidad (2).

(1) Las 5 turbinas son del sistema Kœchlin.
Tienen 2 metros de diámetro exterior.
Pueden consumir 2500 litros por segundo.
Altura de la columna motriz, 6$^{m}$,70.

(2) La importancia de los buenos lubricantes no se aprecia bien en los paises donde la industria no ha adquirido verdaderas proporciones de segura explotacion. Así es que por muchos de nuestros empresarios y contratistas, se ignora que la lubricacion constituye actualmente un importante ramo de comercio especial, y ha sido asunto de muchas

Así, en este canal se ha proscrito el uso de los aceites minerales, preconizados un instante, y no se gasta más que el aceite llamado de *pied de bœuf*, ó bien la grasa dicha de *cheval*, mezclados al aceite bruto de colza, ó bien al de oliva, en proporciones variables con la temperatura.

En la partida de 5039 frs. se comprenden los trapos, el petróleo y la tela esmerilada para la limpieza de las máquinas.

3.ª El precio de $1000^{m^3}$ de agua, elevados á $1^m$ de altura, ha salido á $0^{frs},054$.

4.ª La fuerza media desarrollada ha sido de $157^{caballos},65$ (que es la mitad de toda la potencia de que el canal puede disponer).

5.ª El gasto por caballo y año de 365 dias se resue ve así:

| | |
|---|---|
| Personal............ ........... | $58^{frs},98$ |
| Grasas, aceites, etc................. | 40 42 |
| Conservacion, reparos, etc............ | 27 47 |
| *Total por caballo y año*..... | $126^{frs},87$ |

III.

*Oficinas hidráulicas de la Villa de París.*

1.ª La de Saint-Maur:

Consta de 7 máquinas elevatorias:

3 turbinas Fourneyron, cada una de la fuerza de 100 caballos medidos sobre el árbol (1).

4 ruedas turbinas, de eje horizontal, sistema Girard, cada una de la fuerza de 120 caballos (2).

---

patentes de invencion. Tales son la grasa de grafito siempre duradera, de Dixon *(Dixon's everlasting graphite grease)*, las de Leroi, Saurel, el líquido lubricante de Vidal, la glu Gerard, etc. Pocos aceites sirven perfectamente bien para la lubricacion, porque á ciertas temperaturas, ó se solidifican, ó cambian su viscosidad en una rara consistencia aguanosa, que los hace impropios para el servicio. La importancia del asunto ha hecho al americano Bailey discurrir métodos y aparatos especiales para determinar el poder lubricador de los aceites. Por otra parte, se han inventado las ligas, conocidas por el nombre inglés de *anti-friction metals*, tales como la de Babitt, compuesta, para unos casos, de 25 partes de estaño, 2 de antimonio y 0,5 de cobre; y para otros de 96 de estaño, 8 de antimonio y 4 de cobre.

Mr. Ortolan, maquinista jefe de la marina de guerra francesa, ha publicado recientemente una memoria interesante sobre los aceites de engrasar comunes y los neutralizados por el sistema Allaire. Segun experimentos hechos en el acorazado Colbert, el coeficiente de rozamiento calculado con malos lubricantes en 0,250 puede disminuir con aceites néutros hasta 0,125 para superficies de fundicion y acero de un pulido regular. La diferencia en el caso del Colbert, cuya máquina es de 4400 caballos, representa un ahorro de 234 kilógramos de hulla por hora, si las grasas son de excelente calidad.

(1) Cada Fourneyron tiene $1^m,55$ de diámetro, $0^m,80$ de altura de pala, y da 80 vueltas por minuto (en su máximum).

(2) Cada Girard tiene $11^m,60$ de diámetro, $1^m,12$ en la parte más ancha de las palas, y da de 8 á 9 vueltas por minuto.

*Gastos de la oficina de Saint-Maur.*

| | |
|---|---|
| Personal.............................. | $19820^{frs}$ |
| Aceite de *pied de bœuf*..................... | 12760 |
| Otros gastos distintos del engrasado......... | 17703 |
| Guarniciones de los pistones y cajas de estopa. | 1226 |
| Alumbrado y calefaccion.................. | 6753 |
| Gastos accesorios....................... | 6988 |
| | 65250 |

*Notas.*

1.ª El personal se descompone así:

| | |
|---|---|
| 1 primer maquinista...................... | $2160^{frs}$ |
| 1 segundo.............................. | 1920 |
| 1 engrasador de primera clase............... | 1680 |
| 7 id. á 1440 cada uno..................... | 10080 |
| 1 inspector.............................. | 2000 |
| 1 conserje.............................. | 360 |
| 1 peon y jardinero........................ | 1440 |
| 1 mujer empleada en el telégrafo............ | 180 |
| | 19820 |

2.ª La lubricacion se hace con aceite de *pied de bœuf* al precio de $2^{frs},40$ el kilo.

3.ª El precio de $1000^{m^3}$ de agua elevados á $1^m$ de altura, ha salido á $0^{frs},067$.

4.ª La fuerza media desarrollada ha sido de $403^{cab},773$.

5.ª El gasto medio por caballo y por año se resuelve así:

| | |
|---|---|
| Personal.............................. | $48^{frs},69$ |
| Grasas y guarniciones..................... | 77 35 |
| Alumbrado y calefaccion.................. | 16 59 |
| Accesorios............................. | 17 17 |
| *Total por caballo y año*..... | $159^{frs},80$ |

IV.

El cálculo de los gastos de las otras 2 oficinas hidráulicas de la Villa de París, se ha efectuado por el mismo sistema.

El mejor resultado es el de Saint-Maur, como puede verse en el siguiente estado.

| | Saint-Maur. | Iles les Meldeuses. | Trilbardou. |
|---|---|---|---|
| Fuerza desarrollada en caballos, suponiendo un trabajo contínuo de $24^h$ por dia | $403^{cab},773$ | $43^{cab},053$ | $42^{cab},370$ |
| *Gastos por año y caballo.* | | | |
| Personal | $48^{fr},69$ | $165^{fr},11$ | $234^{fr},09$ |
| Grasas y empaquetados | 77 ,35 | 33 ,39 | 45 ,43 |
| Alumbrado y calefaccion | 16 ,59 | 22 ,38 | 26 ,73 |
| Accesorios | 17 ,17 | 36 ,68 | 196 ,43 |
| | 159 ,80 | 257 ,56 | 502 ,68 |
| Precio de $1000^{m^3}$ de agua elevados á $1^m$ de altura. | 0,067 | 0,109 | 0,212 |

V.

Conocidos estos datos del costo de cada metro cúbico de agua elevado á $1^m$ de altura por la accion de motores hidráulicos, veamos lo que cuesta el mismo trabajo ejecutado por las modernas máquinas perfeccionadas de vapor.

*Máquinas de vapor elevatorias de la Villa de París.*

| | Austerlitz. | Chaillot. | Maisons-Alfort. | Port-à-l'Anglais. | Ourcq. |
|---|---|---|---|---|---|
| Carbon consumido. Peso | $1706758^k$ | $5257711^k$ | $377040^k$ | $615790^k$ | $485941^k$ |
| Carbon consumido. Valor | $59925^{fr}$ | $179338^{fr}$ | $9126^{fr}$ | $15717^{fr}$ | $16081^{fr}$ |
| Personal | 25466 | 41868 | 8971 | 10854 | 11424 |
| Empaquetados y gastos varios | 10501 | 7785 | 5620 | 4539 | 4614 |
| Sostenimiento y reparos | 9362 | 62187 | 1595 | 2473 | 992 |
| | 105255 | 291180 | 25312 | 33585 | 33112 |
| Trabajo medio en caballos útiles efectivos. | 136,81 | 200,17 | 23,73 | 33,04 | 29,02 |
| Personal | 186,14 | 209,16 | 378,04 | 328,54 | 393,66 |
| Carbon | 438,01 | 895,94 | 384,58 | 475,73 | 554,16 |
| Grasa, aceite, etc | 76,76 | 38,89 | 236,85 | 137,39 | 159,02 |
| Sostenimiento, reparos, etc | 68,44 | 310,67 | 67,23 | 74,84 | 34,18 |
| | 769,35 | 1454,66 | 1066,70 | 1016,50 | 1141,02 |
| Gasto de $1000^{m^3}$ elevados á $1^m$ | $0^{fr},325$ | $0^{fr},613$ | $0^{fr},451$ | $0^{fr},43$ | $0^{fr},482$ |
| Volúmen del agua elevada á $1^m$ por kilo de carbon quemado | $189^{m^3},65$ | $90^{m^3},74$ | $148^{m^3},85$ | $126^{m^3}, 9$ | $141^{m^3},27$ |
| Carbon quemado por hora y caballo útil. | $1^k,42$ | $3^k$ | $1^k,81$ | $2^k,12$ | $1^k,91$ |

*Comparacion de los mejores resultados.*

| | | Gasto de $1000^{m^3}$ elevados á $1^m$. |
|---|---|---|
| Motores hidráulicos... | Condé sur Marne... | $0^{fr},0534$ |
| | Saint-Maur........ | 0 ,067 |
| | Iles-les-Meldeuses.. | 0 ,109 |
| | Trilbardou...... . | 0 ,212 |
| Motores de vapor. ... | Austerlitz........ | 0 ,325 |
| | Chaillot.......... | 0 ,613 |
| | Maisons-Alfort.... | 0 ,451 |
| | Port-à-l'Anglais.... | 0 ,431 |
| | Ourcq........... | 0 ,482 |

Se ve, pues, que el mejor resultado del vapor es, sin embargo, mucho más desfavorable que el peor hidráulico; : : 325 : 212.

Y el mejor resultado del vapor es más de 6 $^1/_4$ veces peor que el mejor hidráulico (exactamente 6,29; : : 534 : 3250).

Y no hablemos del caso en que los motores de vapor no sean tan perfectos como los de l'Usine Austerlitz, donde las notables máquinas Farcot descienden á veces hasta no consumir más que $1^k,2$ por hora y por caballo.

En las usines por vapor de Landrecies, Ors y L'Abbaye, fueron los gastos de elevacion de $1000^{m^3}$ á $1^m$ de altura en 1862, los siguientes:

| | |
|---|---|
| Landrecies... .. ................ | $1^{fr},150$ |
| Ors........... .................. | $1^{fr},020$ |
| L'Abbaye...................... | $0^{fr},810$ |

VI.

Una observacion.

Los resultados anteriores referentes á los motores hidráulicos, incluyen, además del costo general necesario para utilizar la fuerza motriz del agua, el costo especial de un trabajo determinado, cual lo es ya el de elevar $1^{m^3}$ de agua á $1^m$ de altura, con bombas de grandes resistencias pasivas, conduccion por tubos, etc.

Si, pues, se pudiese aislar el precio primario de la fuerza motriz hidráulica, veríamos que su baratura crecia en mayor proporcion que la de

$$\frac{534}{3250} = 0,164,$$

comparado con el costo primario de la fuerza motriz del calor.

Pero, para una demostracion cumplida, carezco de suficientes datos experimentales.

En los Estados-Unidos se han hecho construcciones hidráulicas excepcionalmente baratas, en que, incluyendo los diques y las ruedas, el costo de la instalacion ha salido á solos 50 duros por caballo mecánico. Muchas de estas construcciones son de madera; pero aún así y todo, desafian en duracion á las necesarias para el suministro de agua por medio de vapor. En general el costo de instalacion para elevar aguas por medio de máquinas de vapor, se estima al otro lado del Atlántico en 150 á 300 duros; y el de la elevacion por medios hidráulicos, en 100 á 200.

## VII.

Tratándose, pues, de recoger en grandísima escala la fuerza motriz del mar, aislada é independientemente de todo trabajo individual, es claro que su baratura debe ser extraordinaria fuera de toda ponderacion, y su movilizacion habrá de resultar tambien muy económica si la percondensacion del aire por Foros celulares, como al fin de esta obra se verá, ha de verificarse sin sensibles rozamientos ni lubricaciones costosas, por no haber válvulas ni pistones; además de que, por la lentitud de la marcha de los aparatos, han de resultar anulados los inconvenientes de la ley de Gay-Lussac, y sorteados, por la utilizacion del sistema logarítmico, los de la ley de Mariotte.

Pero no anticipemos.

Recogida con los Foros tan en grande y tan sencillamente la fuerza de los Océanos, y de los mares en general, podria venderse el kilógramo de aire comprimido cuatro ó cinco veces más barato que el de vapor á tension igual, y realizar así la factoría ganancias fabulosas.

La fuerza del mar, inútil hoy, se convertiria en una mina de oro ¡inextinguible!

Y ¡cuál no sería el bienestar de una comarca que pudiese (por ejemplo, entre millares) hilar algodon cinco veces más barato que las grandes filaturas de los actuales centros de tejidos al vapor!

Y ¡hasta qué punto no llegaria la moralidad de los séres humanos en una region donde el bienestar no dependiera del sudor de la frente, sino de los cálculos de la inteligencia, de la honradez del corazon, y de la energía de la actividad!

Los inmensos recursos del universo deben aplicarse cada vez más profusamente á la mejora física, y por ella á la elevacion moral de la familia humana.

Sin abundancia, no hay dignificacion. La ciencia es, pues, eminentemente social, por más que las verdades, cuando están descubriéndose y propagándose, disten mucho de ser remunerativas para los obstinados y tenaces que á ellas sacrifican la actividad de su investigacion. La sabiduría de un país es su más poderoso capital; y piensan mal, deplorablemente mal, cuantos creen (y son muchos todavía) que la ignorancia en las muchedumbres y el saber en los ménos es el desideratum del estado social. La ciencia es en espíritu y accion esencialmente democrática, y su clientela incluye á todos los pueblos de la tierra. Pero los obreros de la investigacion son escasos todavía, aunque su número es mucho mayor que antes era; y, si existe miseria en el mundo, es porque hay muy pocos aún que estudien las fuerzas naturales y descubran las leyes que las rigen para subyugarlas y hacerlas trabajar sin descanso contra los enemigos de la Humanidad: la Miseria y la Ignorancia. Témese á la ciencia, porque ella es la mantenedora de la agresion perenne de lo nuevo contra lo viejo; pero la lucha es condicion de la existencia, porque solamente cuando no haya nada que mejorar, cesarán las hostilidades entre el HOY y el AYER, ya que el Progreso necesita muchas veces la destruccion de lo antiguo, cuando éste le estorba ó se opone á su marcha triunfadora.

¡Ciencia, dominio sobre las fuerzas naturales, y es seguro el bienestar de los que ahora sufren!

# CAPÍTULO II.

## PORVENIR DE LOS MOTORES HIDRÁULICOS.

---

### I.

Pero podrá decirse:

Es de esperar que cada dia se abarate más la produccion del vapor por dos causas coincidentes:

1.ª El descubrimiento de más minas de carbon:

2.ª Las mejoras introducidas en los mecanismos que hallan en el fuego el orígen de su fuerza.

En efecto, nuevamente se ha visto que la riqueza de las minas de Westfalia asciende á 100000 millones de toneladas, las cuales bastarian durante 5000 años para el consumo de Alemania, ó bien para el de 700 años de Inglaterra. La antracita de la sola provincia China de Shan-Si puede dar 300 millones de toneladas durante 2500 años. Además, la region hullera del Celeste Imperio se extiende á 18 provincias; y, aunque varía mucho la extension y calidad de los filones, bien puede asegurarse que la China es el primer país hullero del mundo; y, por feliz coincidencia, junto á la hulla se encuentra allí el hierro en abundancia; por manera que la industria no tiene mucho que hacer, para sacar á esos dos hijos gemelos de Hércules del sueño que están durmiendo hace tantos siglos en el seno de las montañas.

Y ¿no acaban de descubrirse hulleras de extension considerable en el corazon de Africa?

### II.

Por otra parte, la economía de combustible que la moderna maquinaria ha introducido, pasma de admiracion. Por ejemplo, en las máquinas de Newcomen, tales como las dispuso Smeaton, el consumo de carbon por hora y

| | |
|---|---|
| por caballo era de........................................ | 13,50$^{k}$ |
| Ya en 1811 las máquinas bomberas de Cornualles gastaban........ | 4,95 |
| En 1842................................................ | 1,30 |
| En 1863 las mejores máquinas marinas.......................... | 1,70 |
| Desde 1872............................................... | 0,95 |
| Las grandes Corliss y Compound han descendido á............... | 0,85 |

Hoy una tonelada de carga procedente de Liverpool puede desembarcarse en Nueva York con el solo recargo de 4,5 quintales de carbon por el viaje contra 48,5 quintales en los primitivos vapores; pues el consumo de carbon por caballo ha descendido desde 4,7 á 1,9 quintales, mientras que la velocidad media ha doblado casi. En 1840 el *Britannia*, de la Compañía Cunard, en su viaje más rápido corrió las 2775 millas inglesas de Liverpool á Boston en 14 dias 8 horas, al paso que en 1877 el *Britannic*, de la White Star, recorrió las 2802 millas de Queenstown á Nueva-York en 7 dias 11 horas. ¡Notable ejemplo del progreso de la navegacion en estos 40 años! El *Germanic* hizo una singladura en octubre de 1877 á razon de $19\,^3/_8$ millas, *estatute miles*, ó sean 12033 metros (1). El *Gallia*, último buque de la Compañía Cunard, gasta 1,73 libras inglesas de carbon, anda $18\,^1/_4$ *estatute miles* por hora, y ha hecho con viento de proa en 7 dias 19 horas el tránsito de Queenstown á Nueva-York. ¡Velocidad difícil de exceder mientras no cambie el actual modo de propulsion!

Pero ¿hay álguien que pueda negar la posibilidad de otro progreso más, sobre progreso tan extraordinario? ¿Podia creerse en 1840 que en 1879 se pudiera transportar 15 veces más flete á través del Atlántico, en la mitad del tiempo y vez y media ménos peso de carbon? Por una parte, se sabe hoy con entera certidumbre científica, que la potencia utilizada en la máquina y en la caldera de vapor (2) se queda muy por debajo del efecto que acusa el cálculo, tanto que

---

(1) Datos de una memoria de ARTHUR J. MANGINNIS, Liverpool.

(2) Regularmente no se hace por todos la debida diferencia entre el estado de las máquinas de vapor y los aparatos de combustion. Estos son muy deficientes; aquellas han adelantado de un modo considerable.

| | |
|---|---|
| Las máquinas Compound, segun su mayor ó menor potencia, consumen por hora y por caballo.......... | 850 á 1000 gramos. |
| Las máquinas Corliss de condensacion gastan, segun su mayor ó menor potencia, por hora y caballo, de........ | 850 á 1000 gramos. |
| Las mismas sin condensacion próximamente. | 1500 gramos. |
| (En general las máquinas sin condensador consumen $^2/_5$ más que las de condensador). | |
| Las máquinas Sulzer (de Winterthur) consumen término medio.. | 1000 gramos. |
| Las máquinas Corliss gastan por hora y caballo, kilóg. de vapor. | 8 á 9 |
| Una máquina teórica perfecta á 5 atmósferas debe consumir... | 5,12 |
| Luego la máquina de vapor que prácticamente gaste 8 kilógramos de vapor, solo utiliza de la fuerza en el vapor almacenada el................ | 60 % |

Los motores hidráulicos utilizan mejor indudablemente la fuerza motriz. La rueda Sagebien aprovecha mas del 90 %.

Pero cuando la máquina de vapor utilice el 80 % de la fuerza almacenada en el vapor, poco habrá ya que esperar en cuanto á mejoras. Entonces el consumo de carbon será 600 gramos.

Como se ve, las máquinas de vapor utilizan bastante bien la energía residente en el vapor; pero los aparatos de combustion aprovechan muy mal la residente en el carbon.

casi nunca llega prácticamente al 8 por 100 de la energía atesorada en el combustible consumido; y, por otra parte, consta asimismo que tan enorme pérdida se debe principalmente á lo incompleto de la combustion y al enorme derroche del calor que se escapa por la chimenea con los gases de la combustion y el vapor del agua que ya se ha utilizado. Pero ¿conocida la causa no es de esperar el remedio? ¿No se está ya economizando mucho combustible solo por su mejor y mas completa combustion y lento consumo? De cierto que sí. Además, habiendo llegado ya la máquina de vapor á un estado de perfeccion relativa tan considerable, que siempre podemos contar con su eficacia, ¿no convendrá hacer siempre uso de ella, quedando así el industrial á salvo de los inconvenientes especialmente propios de los motores hidráulicos, por causa de las sequías, del estiaje, de las avenidas imprevistas, las arriadas, etc., etc.?

## III.

Verdaderamente las intermitencias en la intensidad de la potencia por causa de los estiajes y de las arriadas son la terrible objecion á que están sujetos en su mayor parte los motores hidráulicos, y que les es comun con los molinos de viento y los motores solares, en que ahora se empieza á trabajar.

Esta objecion, sin embargo, no alcanzará á las mareas, como al cabo habremos de ver en el discurso de esta obra.

Mas con respecto á los inconvenientes mencionados, deberemos hacer algunas observaciones.

## IV.

En primer lugar, el carbon fósil es escaso.

Todo el extraido de las minas de Inglaterra desde hace un siglo pesa 5000 millones de toneladas, cuya masa cabe en la capacidad de 1 milla cúbica in-

---

| | |
|---|---|
| 1 kilógramo de hulla produce por su combustion en 1 hora.... | 8000 calorías. |
| 1 caloría debe teóricamente levantar el peso de 1 kilógramo á $425^{m}$ de altura. | |
| Luego las 8000 calorías deben levantar el peso de 1 kilógramo á la altura de $425 \times 8000 =$ | 3400000 metros. |
| Pero 1 caballo-vapor trabajando una hora produce | |
| $75^{k} \times (60' \times 60'') =$ | 270000 { kilográmetros. |

Luego la relacion entre el trabajo que se obtiene de 1 kilógramo de hulla y el que debiera obtenerse es
: : 270000 : 3400000 = 8 $^{0}/_{0}$

Y esto en las buenas máquinas; que en las malas suele no llegar á los cilindros de vapor más que el 5 $^{0}/_{0}$ de la fuerza que se desarrolla y existe en el hogar de la caldera.

Las máquinas de vapor se van acercando á su término de perfeccion.

Pero los aparatos de combustion son unos aparatos imperfectísimos todavía.

glesa, es decir, dentro de un dado que tuviese por arista 1609 metros. Si hiciéramos, pues, cuidadosamente un diminutísimo y casi imperceptible dado del grueso de este papel, y colocásemos tan inmanejable corpúsculo en el sitio destinado á las Islas Británicas dentro de la costra de un globo terrestre de 1 metro de diámetro, ese tan diminuto dado de papel representaria todo el carbon fósil extraido de Inglaterra en el siglo que termina en 1878. El punto final del anterior período es doble que ese dado.

Todo el carbon de piedra existente en la tierra no llega acaso (respecto siempre de ese globo de 1$^{m}$ de diámetro) al tamaño de un pedazo de este papel cuya área fuese igual al tamaño de una C mayúscula de imprenta de este tipo (1). Quizás, y sin quizás, exista algun más carbon llevado por las convulsiones geológicas á una profundidad mayor que 1200$^{m}$; pero, por mucho que en tales abismos hubiera, semejante combustible no sería de provecho para el hombre. La temperatura de la tierra aumenta rápidamente con la profundidad, y á la de 1200$^{m}$ el termómetro, en general, marcaria una temperatura de 45 á 50° C. Imagine el lector si en semejante atmósfera sería probable la existencia del minero. Más allá, es decir, más abajo, imposible. Se estima por gran número de geólogos y de astrónomos, que una gran porcion del interior de la tierra está fluida y caliente; porque las observaciones han demostrado que, á medida que descendemos, sube el termómetro. Estamos acostumbrados á oir hablar de presiones de 10 ó 12 atmósferas, y nos sobrecogemos de espanto cuando pensamos en centenares de ellas; pero la verdad es que ni aun podemos concebir lo que podrá ser una presion de 2 millones de atmósferas, como el cálculo indica *grosso modo* que debe ser la de la tremenda compresion existente en el centro del planeta (2). Ni aun tenemos idea de lo que eso puede ser, y ni siquiera nos es dado el imaginar sus consecuencias. El gas más ligero adquiera quizá allí la densidad del oro ó del platino, el polvo se convierta en sólido compactísimo, ó el sólido más resistente se haga polvo.

Acerca del calor resultante, nuestra ignorancia es completa. Antes se pensaba que el incremento de la temperatura era uniforme y proporcional al descenso; pero en la actualidad se sabe que la naturaleza del terreno influye mucho en esos grados de calor (3). En la mina de oro *The Savage*, Estados-Unidos, el calor es tan grande que el agua se convierte en vapor, y escalda á los mineros; por lo cual hombres muy entendidos proponen una más profunda perforacion por aparatos que obren á distancia, y alimentar luego de agua suficiente el pozo taladrado para que, convertida en vapor, mueva la maquinaria de la

(1) *Nautical Magazine*, vol. 11, 7, número 2.

(2) AIRY, *Address at the Cumberland Association*.

(3) Segun HENWOOD:

| | |
|---|---|
| En granito | 15$^{m}$,54 |
| En pizarra | 11$^{m}$,34 |
| En vetas intercruzadas | 12 ,44 |
| En filones (en general) | 12 ,26 |
| En filones de estaño | 12 ,44 |
| En filones de estaño y cobre | 12 ,06 |
| En filones de cobre | 11 ,70 |

mina. En el dia, entre las muchas dificultades que se están experimentando en el túnel de San Gotardo, no es la menor el insoportable calor que sienten los obreros, tanto que no pueden aguantar los vestidos; y, aunque trabajan desnudos, el sudor los extenúa á tal extremo, que andan agobiados, cual si sucumbiesen bajo enorme carga. El calor es allí más insoportable que en las argentíferas minas americanas de Nevada, tenidas por las más calurosas del mundo, como explotadas en la costra de un volcan reciente. Si en las minas profundas, por razones no muy bien comprendidas, la temperatura aumenta, conforme á la naturaleza del terreno, en el San Gotardo no hay visos de aproximacion á volcanes extinguidos, y el aire frio que se escapa de los perforadores deberia helar casi la atmósfera. Verdaderamente algo sucede allí de no explicado; y así no es de extrañar que algun periódico notable sugiera con la mayor formalidad la idea de que se esté acaso perforando el cráter de un volcan, sin parar mientes en que solo la gran presion de las capas geológicas basta para explicar el incremento excepcional de tal temperatura. ¿Resultará defectuosa la ventilacion del túnel donde tanta luz artificial calienta el aire?

Pero, sea de esto lo que quiera, aparece que el carbon no es explotable, aunque exista, más allá de cierta profundidad; y, si por medio de taladros ingeniosos se horadara la costra de la tierra, hasta encontrar el agua en ebullicion, y obtener así vapor en condiciones industriales para las máquinas fijas, verdaderamente el carbon vendria á ser ya de todo punto innecesario. ¿A qué buscar medios de producir calor, si ya lo habia? (1)

En Pesth se está sondando un pozo artesiano, que pasa ya de 950$^{m}$, y que suministra agua á la temperatura de 71°,66 C., con la cual se piensa calefacer la ciudad durante el invierno, y alimentar las calderas de vapor constantemente con esta agua á tan alta temperatura, efectuando así un ahorro de combustible muy considerable. Cuando tal pozo esté completo, saltará á 81° el agua á la altura de 15 metros.

Hasta ahora el pozo artesiano más profundo del mundo era el de París (547$^{m}$); pero, terminado, el pozo Húngaro descenderá á doble profundidad que el Parisiense, y dará diariamente 662000 litros de agua casi hirviendo (2).

---

(1) Las minas más profundas son actualmente

| | |
|---|---|
| La Adalbert, Austria, de plomo argentífero...... | 1000$^{m}$ |
| Viviers, Bélgica, carbon............ | 860 |
| Esta mina fué explotada hasta los 1193; pero, no hallándose carbon, la explotacion quedó en suspenso. | |
| Dunkirk, Inglaterra (Lancashire).... | 854 |
| Rosebridge, id. id.......... | 713 |
| Yellow Jacket, Comstocklode, Estados-Unidos...................... | 755 |

(Véase *Min. and. Sc. Press.*)

(2) Un ingeniero de Virginia City ha propuesto la calefaccion de las casas de la ciudad y la ventilacion de las minas cercanas, por medio de tubos que tomen el aire caliente en la profundidad de las minas.

## V.

Tan real es la zozobra respecto á la escasez de combustible, que tambien se habla de aprovechar los Mares de Sargaso. Pero ¿qué recurso sería ese? ¿Qué significaria tal expediente? Una penuria inmensa. Pues pensar en los productos de la actual vegetacion, sería insigne candidez (1).

Las traviesas solo de los caminos de hierro, los postes telegráficos y las nuevas construcciones, exigen en estos momentos tal cantidad de maderámen, y lo habrán de exigir en lo futuro, que la conservacion de los bosques empieza á inspirar sérios temores á todos los gobiernos de prevision. Muchos Estadistas, por esto solamente, consideran á los bosques como propiedad pública.

Es verdad que ya se hacen de hierro las traviesas de los caminos de hierro, segun el método de C. Wood, adoptadas en el North Eastern Railway; cierto es que prometen mucho las traviesas de cristal endurecido preparadas por el método de Bucknall, más resistentes á los golpes que las de hierro colado; cierto que el uso creciente de los metales ahorrará mucha madera, pero, aun así, la madera resultará deficiente para la Industria, y abolido su uso como combustible.

La ansiedad que inspira el término del combustible es, pues, incuestionable.

Pero ¿por qué razon se ha de temer que falte fuerza?

## VII.

Si bien respecto de la masa de nuestro globo es insignificante la cantidad de carbon fósil existente en las entrañas del planeta, ¿no es respecto de nuestras necesidades mecánicas verdaderamente colosal la energía atesorada en ese combustible, y bastante para satisfacer las necesidades de la mecánica tal vez durante 1 ó 2 miríadas de años?

A petrificarse la Industria en su estado actual, indudablemente sería así.

Pero es el caso que el consumo del carbon fósil viene duplicándose cada 15 años, y probablemente dentro de poco se triplicará.

En Francia, segun Burat, el consumo ha sido:

| | |
|---|---|
| En 1815...................... | 9500000 |
| En 1830...................... | 18000000 |
| En 1843. .................... | 37000000 |
| En 1859...................... | 75000000 |

(1) En 1871 el número de traviesas era en el mundo de 250 millones. De seguro hoy se necesitan más de 100 millones de piés cúbicos de madera para traviesas solamente. Indudablemente se harán de hierro, pero el hierro tambien requiere combustible.

En los últimos 15 años ha más que duplicado.

En 1840 era el rey de los Vapores Transatlánticos el *Britannia*, de la Compañía Cunard, con 1150 toneladas, y fuerza de 440 caballos. Hoy el *City of Berlin*, de la Compañía Ilman, de 5500 toneladas, es de la fuerza de 1000 caballos. El *Gallia* es de 5300. El *Oriente*, de la Compañía Australiana, desplaza 9500 toneladas, y tiene 5400 caballos. Durante el año 1867, en Alemania, 323 poblaciones de 5 á 2000 habitantes tenian caminos de hierro, y en 1875 lo poseian ya 430: la poblacion de las 323 aumentó en 8 años desde 2759000 hasta 4 millones de habitantes.

Las locomotoras de los Estados-Unidos gastan hoy 3128000 toneladas de carbon, doble próximamente que hace 8 años, en que el consumo era de 1216000 (1).

Hoy existen más de 50000 locomotoras en el mundo (2), que en carbon gastan 10 millones de toneladas al año: antes de 1829 nada se consumia por este concepto. ¿Cómo, pues, esperar disminucion ninguna, cuando no hay caminos de hierro en China, ni en el Japon, ni en las Filipinas, ni casi en Africa, ni apenas en Asia ni en Australia (3), dadas su extensa civilizacion y su importancia creciente?

## VIII.

El vapor es actualmente la fuerza más sumisa á la Humanidad: el carbon, que es su agente primario, ha de escasear, y ya escasea relativamente. Ese motor primario puede ser sustituido, ó auxiliado por el calor central y otros agentes; pero, por ahora, ninguna otra fuerza parece más á propósito para sustituirlo y auxiliarlo, que la de los saltos de agua descendentes de los montes y los movimientos incesantes de la mar.

Porque pensar que el hombre de las razas superiores haya ahora de volver á los tiempos en que se servia de la esclavitud para sus empresas, parece fuera de toda posibilidad. Ya ha aprendido á esclavizar las potencias naturales, y junto á ellas son insignificantes las fuerzas de los músculos esclavos.

Verdad es que confunden la mente las obras ejecutadas por pueblos antiquísimos, á veces ni aun conocedores del hierro, y sin el buey ni el caballo á

---

(1) *Sc. Am.*, vol. XXXVIII, núm. 15.

(2) Las naciones que más tienen son

| | |
|---|---|
| Estados-Unidos.... | 13000 |
| Inglaterra......... | 11000 |
| Alemania......... | 6000 |
| Francia........... | 5000 |
| Rusia............. | 2600 |
| Austria-Hungría... | 3000 |
| Italia............. | 1200 |

(3) Segun el Almanaque de Gotha y el *Statesman's Book* de Federico Martin, á fin de 1877 tenia:

| | | |
|---|---|---|
| Europa.. | 152954 | kilómetros de vias férreas. |
| América. | 146536 | |
| Asia..... | 13943 | |
| Oceanía.. | 4490 | |
| Africa... | 2907 | |
| | 320830 | |

su servicio. La raza misteriosa del Perú anterior sin duda á los Incas, sabía labrar el oro incorruptible, el cobre y la plata, tejer telas de finísimo algodon, teñirlas en vivos colores permanentes, y bordarlas con un primor ahora sin ejemplo; embalsamaba sus difuntos, y los conservaba de cuclillas, desnudos, ó envueltos en chales suntuosos, dentro de nichos tallados en roca resistente á las desintegraciones de los siglos; raza ciclópea que terraplenó los barrancos del Perú en una extension de 2000 kilómetros, construyendo murallas de cantos poliedros y desiguales, á veces gigantescos, siempre de granito, pórfido y otras piedras duraderas, y siempre sin cemento, como los bloques de los monumentos pelásgicos de la antigua Argólida. Las piedras de esos monumentos se hallan tan admirablemente labradas y pulidas, que el ajuste y encaje de las caras no discrepa; y las obras todas son de tan portentosa extension que, juntas las murallas y colocadas á continuacion unas de otras, podrian circundar diez veces cuando ménos nuestro globo: ¡maravilla de fuerza y energía, ante la cual son muy poco todos nuestros ferro-carriles y canales!

¿Dónde la raza de elevada estatura, esbelta y bien proporcionada, que construyó vasos, medallas, instrumentos músicos, relieves, estátuas colosales, casas, templos, sepulcros, puentes, acueductos, pirámides y fortificaciones en la Huehuetlapan mejicana, impropiamente llamada Palenque, ciudad de los portentos, del látigo simbólico, de la *T* mística, las cruces, la serpiente, el escarabajo, y los inexplicados geroglíficos, semejantes, sin embargo, á los del Egipto portentoso?

¿Dónde están las gentes de los *mouldings* del Ohio y de todo el extenso valle del Mississipí?

¿Quiénes eran los que en Easter Island, peñon aislado en medio de los mares á 2000 millas del Sur de América, á 2000 de las Marquesas, á más de 1000 de las Gambier Islands, modelaron los centenares de colosos en forma humana, de 10, 12 y más metros de altura y más de 100 toneladas de peso? Tres metros de diámetro mide la cabeza y el cuello de una de estas estátuas, todas las cuales estuvieron algun dia en pié sobre anchurosas plataformas, y hoy se ven tendidas por los suelos en aquel pequeño islote, perdido en las inmensas soledades del Pacífico (1).

De cierto no conocian los prodigios del vapor los arquitectos druidas, de luengas barbas y coronas de laurel, que levantaron los dólmenes monolíticos de 700 toneladas, y los menhires de granito indestructible con 20 y 25 metros de altura, rudos rivales de los bien tallados obeliscos del Egipto Faraónico.

De cierto no conocian el vapor los déspotas mitrados del Asia que, con la potente máquina de la esclavitud, cubrieron de maravillas la llanura de Babilonia, sin soñar nunca que sus escombros servirian algun dia de morada á los tigres, chacales y serpientes; ni contaban con nuestros recursos mecánicos los que edi-

---

1) *Journ. of Roy. Geog. Soc.* 1870.

ficaron á Nínive, sepultada hasta hace 40 años; ni los que se coronaban en la sacra Persépolis, quemada por las teas de Alejandro, de sus capitanes y meretrices, tras una de las brutales orgías de aquel conquistador; ni los que tallaron colinas de basalto, y las ahuecaron primorosamente para formar templos como el índico de Kailasa, basílica incomparable de columnatas sostenidas por bueyes y elefantes monstruosos; ni los que levantaron las pirámides y construyeron la ciudad de las esfinges con cabeza de carnero, Tebas la incomparable, que ostenta aún, en vez de árboles, selvas de columnas ponderosas y alamedas de ingentes obeliscos.

¡Oh! Sin duda es una maravilla la máquina del hombre (1), y una potencia increible la de la esclavitud; pero la civilizacion que una vez haya sometido á los agentes del Cosmos, no puede en modo alguno contentarse ya con la fuerza mezquina de las fibras musculares. La vida es muy corta y la esclavitud trabaja muy despacio. Para hacer la pirámide de Cecrops, que mide 11000 metros cúbicos, se necesitaron 30 años y 100000 esclavos; mientras que para perforar el monte Cenis, que cubica 500000 metros, han bastado 10 años y 500 trabajadores solamente (2).

Hoy cuesta una máquina de la fuerza de un caballo, lo mismo que un caballo real de carne y hueso; al paso que 100, 200..... 1000 caballos de hierro, bronce y acero, valen mucho ménos que los de igual fuerza de sangre. Estos duran 8 ó 10 años, á lo sumo, no trabajan cuando duermen, y tienen que estar holgando 16 horas de las 24, en que el caballo mecánico trabaja sin reposo. El animal consume siempre, aun cuando no tenga nada que hacer; pero la máquina no gasta cuando huelga. El animal cuesta constantemente como 8, y la máquina como 2 cuando es pequeña, y como 1 cuando es grande (ménos todavía). Además, los caballos requieren mucho espacio y muchos hombres que los guien, mientras que 2 hombres bastan para una locomotora, que concentra en sus candentes entrañas el prodigioso poder de 1325 caballos de sangre (término medio).

No: no se volverá á la esclavitud, cuando ni el buey ni el caballo son ya aceptables para las gigantes empresas de la actualidad.

La esclavitud pudo ser muy barata en las antiguas sociedades. Hoy desapareceria ante la moderna mecánica, flexible é incansable, si razones de dignidad y de respeto á la personalidad humana no aconsejasen su abolicion.

## IX.

No es posible, pues, con los datos actuales esperar que el motor de carbon llegue á ser más económico que el hidráulico, por mucho que sea el combusti-

---

(1) Segun los cálculos de HELMHOLZ, $^1/_5$ de la energía propia de las reacciones químicas que aparecen en el cuerpo humano, reaparece en la accion y el esfuerzo muscular. No hay máquina de fuego que rinda tanto.

(2) CAZIN.

ble ahorrado cuando se mejoren los mecanismos, ni por ricos que resulten los nuevos distritos hulleros á que se extienda la explotacion. Preciso es, por lo tanto, acudir á nuevos motores, y ningunos más fáciles de subyugar que los hidráulicos.

Tal vez la máquina solar en los paises tropicales sea un elemento de fuerza permanente (1). Acaso en todas partes lo sea en dia no lejano el calor central.

## X.

El calor solar, el calor central y los motores hidráulicos, parecen, pues, los destinados á satisfacer muchas de las necesidades de las civilizaciones venideras, las cuales reservarán avaramente el carbon para los casos á que no puedan ocurrir otras fuentes abundantes de energía.

Yo sé muy bien que aun en estos tiempos de calorosa precipitacion y negocios aventurados, existe en el pensamiento mucho ménos que en los labios el amor al verdadero progreso científico, y conozco que una de las más curiosas é inexplicables epidemias de la bulliciosa efervescencia y agitacion financiera de estos tiempos, es la repugnancia á cambiar de posicion para mirar, desde un nuevo punto de vista, fenómenos familiares y comunes, sobre los cuales estamos acostumbrados á dirigir distraidos las miradas. Nunca queremos ver, en lo que nos rodea cuotidianamente, un inexplotado tesoro ó una aceptada forma de barbarie; y por eso lo nuevo tiene siempre que contar con la seguridad de una primera repulsa. Sin embargo, nunca como ahora se ha despreciado ménos una idea, aunque no se vislumbre su inmediata aplicacion; ni jamás los hombres de las empresas colosales, que tanto hacen adelantar á las naciones, han atendido más á esas fuerzas no aprovechadas aún, que duermen en el regazo de lo inexplorado y de lo desconocido.

Si, pues, la conquista del mar es asunto por sí solo de inmenso interés teórico, emprendamos su estudio con tanta mayor esperanza, cuanto que por un lado no han de aparecer nuevos principios teóricos que, como importunos, vengan á turbar la tranquilidad de espíritu de los rutinarios, seráficamente seguros de la posesion de una ciencia absoluta; y por otro lado no son de temer las antipatías de los hombres de negocios, ni las envidias enemigas del éxito, toda vez que la utilizacion dinámica del mar, no solamente no puede introducir perturbacion ninguna en industrias similares (que no existen), sino que tambien á ninguno debe serle antipática la aspiracion; ya que la fuerza del mar, inútil hoy, puede llegar á ser acaso, un dia no lejano, una mina de oro ¡inextinguible!

---

(1) Véanse las obras de MOUCHOT.

## XI.

El aire es un resorte; y, como todos, cede fácilmente al principio; pero, á medida que se comprime, va aumentando indefinidamente sus resistencias, hasta que llega un momento en que estas resistencias son invencibles para los motores usuales de la industria.

Y, siendo esto así, ¿no sucederá que la oposicion del resorte constituya por sí sola una dificultad insuperable?

No.

Pero para vencerla con relativa facilidad hay que crear organismos *ad hoc*, que más adelante estudiaremos.

# LIBRO V.

---

## EL AIRE COMPRIMIDO.

# CAPITULO I.

## EL AIRE COMPRIMIDO. SUS EXCELENCIAS COMO AGENTE DE TRANSMISION DE LA FUERZA Á DISTANCIA (1).

### I.

No hay, en verdad, fenómenos más comunes que los de la rarefaccion y la condensacion del aire.

Desde el primer instante de la vida, hasta el momento mismo de la muerte, la respiracion no es más que una série de aspiraciones y de expulsiones del aire, condicion inexcusable de fenómenos más complejos. La lactancia supone la succion: con el soplo activamos la llama de un hogar; extinguimos una luz; proyectamos á distancia diminutos corpúsculos, inaccesibles por su tenuidad al tacto; calentamos los dedos ateridos; enfriamos los líquidos calientes; actos todos que suponen el conocimiento, —si no reflejo y científico, por lo ménos espontáneo,—de las propiedades físicas, mecánicas y térmicas del aire, sobre las cuales están fundados los modernos adelantos.

¿Cómo es que, siendo tan familiares, no han trascendido estos fenómenos á la industria desde la más remota antigüedad? ¿Cómo es que las aplicaciones, industrialmente sistemáticas, del aire comprimido, datan solo de unos 30 años, la vida de una generacion?

### II.

Algo, sin embargo, conocieron los antiguos.

Pero los hechos aislados no constituyen ciencia: faltábales, pues, esa generalizacion teórica, sin la cual los conocimientos más útiles no pasan de la esfera del empirismo.

---

(1) Gran parte de las noticias dadas en este capítulo sobre el aire comprimido, están extractadas de la obra de A. PERNOLET. titulada

*L'air comprimé et ses applications.*

¡Publicacion notabilísima y de un mérito verdaderamente excepcional, así por el sano criterio científico, como por el inagotable tesoro de datos que contiene!

Es un tratado absolutamente indispensable para quien quiera ponerse al corriente del estado actual, tanto de la ciencia cuanto de la teoría, en lo relativo á la compresion del aire y á sus usos en la industria.

Ya eran, hace 4000 años, familiares á los egipcios los fuelles usados en número par. En sus pinturas se ve al operario oprimiendo con el pié el recipiente henchido de aire, y levantando con la mano y una cuerda el que se habia mientras tanto de llenar.

ARISTÓTELES conocia la campana de buzos. HERON, de Alejandría, supo comprimir el aire en la fuente que lleva aún su nombre. CTESIBIUS, de Alejandría tambien, habla del órgano hidráulico, al cual suministraba aire comprimido una caida de agua.

Mucho ingenio supone en el órgano pneumático (tan antiguo como el hidráulico tal vez) el uso de fuelles de presion constante.

Las antiquísimas forjas catalanas recibian el aire, como en la actualidad, por la accion de un chorro de agua capaz de arrastrar consigo, dentro de apropiada tubería, una cantidad de aire, considerable relativamente.

## III.

Pero hasta el pasado siglo no se generalizó, con verdaderos fines industriales, la campana de buzo, ni se hicieron ensayos ó experimentos en el gabinete, de que la mecánica pudiera un dia sacar partido, tales como los de los globos de Magdebourg y el fusil de viento, entonces capaz de tanto efecto casi como el fusil de municion;—ensayos y experimentos que revelaron toda la potencia que se podia utilizar en la máquina atmosférica de vapor, y todo lo que debia esperarse de las altas condensaciones del aire;—gérmenes, inapreciados casi en aquella época, de esta inmensa y no esperada evolucion realizada en la mecánica moderna y en la portentosa industria actual (1).

---

(1) Hallo lo siguiente en un escrito de JOHNSON, de Bristol:

«Se cree que CTESIBIUS descubrió la compresibilidad del aire, y que HERON escribió un libro manifestando que, cuando el aire es comprimido, pierde en volúmen, y que lo recobra al cesar la compresion. La ponderabilidad del aire no se conoció hasta que en el siglo XVII aparecieron los trabajos de GALILEO, TORRICELLI y OTTO DE GUERICKE, que inventó la bomba pneumática. La química del aire no atrajo la atencion hasta el siglo XVIII por los descubrimientos de BLACK, PRIESTLEY y LAVOISIER. La dinámica pneumática, aunque en gérmen en la fuente de HERON, parece presentida por PAPIN, que concibió la idea de hacer funcionar una bomba á distancia, con el aire comprimido por una rueda hidráulica.»

Si esto es enteramente así, la pneumo-dinámica es francesa, y data de principios del siglo XVIII.

Justamente 100 años antes de empezarse el túnel del Cenis, un tal ISAAC WILKINSON sacó patente para una máquina de comprimir aire, muy semejante á la empleada en aquellas obras gigantescas.

(JOHNSON, *of the Kingswood Collieries, Bristol.*)

## IV.

Y, con efecto, el progreso de estos últimos 20 años pasma de admiracion: 30 años hace, casi nadie pensaba en el aire comprimido; y hoy ningun ingeniero podria prescindir de este flexibilísimo agente, ya de uso general, y hasta de moda casi.

Hoy un buzo puede permanecer debajo del agua 6 ú 8 horas trabajando, sin depender para nada de sus compañeros del exterior, y sin que nada limite la esfera de su accion respecto al espacio en que se haya de mover, con tal de que descienda á lo profundo del mar llevando consigo su provision de aire para respirar artificialmente durante todo este tiempo, encerrada en un cilindro de hierro de 20 á 30 litros de capacidad á la enorme presion de 30 atmósferas (1).

Hoy, con el mismo aparato, puede un obrero penetrar impunemente en la atmósfera más asfixiante y deletérea.

Y hoy es posible la navegacion submarina por medio del aire comprimido, que, no solo suministra aire para la respiracion de los tripulantes, sino que antes ha empleado su enorme fuerza motriz en la propulsion del buque sumergido.

El ataque en alta mar cuenta con torpedos semovientes, y la defensa de las costas con torpedos fijos y tambien semovientes, bajo la accion del aire á 64 atmósferas (2).

---

(1) Los primeros aparatos de buzo prácticos y distintos de la campana, son invencion de un inglés, SIEBE, 1829. CABIROL, francés, los perfeccionó en 1857. Hoy se usan los de ROUQUAYROL ET DENAYROUSE, más perfectos aún, 1867; los cuales dejan al buzo completa libertad é independencia para moverse en todas direcciones, sin ninguna limitacion de espacio. La presion del agua limita la profundidad del descenso. Créese que ningun buzo ha bajado á más de 52 metros.

El aparato respiratorio más sencillo es el de Galibert: consiste en un receptáculo lleno de aire, de paredes flexibles, sin peso casi, que el bombero lleva á la espalda como una mochila. Del receptáculo salen dos tubos por donde el hombre respira, sujetando la embocadura con los dientes. El aire respirado vuelve al saco de aire, el cual naturalmente se vicia, pero solo al cabo de más de un cuarto de hora.

La lámpara submarina Bornet y Toster está compuesta de un recipiente de palastro en que se comprime el oxígeno á 30 atmósferas. Este oxígeno puede alimentar 4 horas una mecha de alcohol. (*Rev. marit.*, pág. 438 del núm. 212.)

(2) El torpedo de lord Milton está destinado á funcionar bajo el agua por medio del aire comprimido.

El torpedo Whitehead funciona con una presion de 56 á 70 atmósferas; la provision de aire le permite un trayecto de 900 á $1000^{m}$. El aire comprimido mueve una máquina Brotherhood. El torpedo marcha entre 2 aguas á determinada y constante distancia de la superficie: un timon horizontal está gobernado por la presion del agua, en combinacion con un recipiente especial de aire comprimido; de manera que, si el torpedo se eleva, disminuye la presion hidráulica, y el timon, empujado por el resorte aéreo, se inclina hácia el fondo, con lo que el torpedo baja; y, si éste desciende demasiado, la presion hidráulica, venciendo la antagonista del aire, lo inclina hácia la superficie, con lo que la máquina sube.

En arenas inundadas por torrentes de agua inagotables se efectúan pozos y calicatas, introduciendo en ellos tubos de gran diámetro, cerrados por la parte superior, dentro de los cuales se hace penetrar desde fuera, por medio de máquinas insignificantes, todo el aire comprimido necesario á expulsar el agua hostil, hasta que el gas, en el interior, forma equilibrio á la presion del agua ambiente (1).

Los fangos de los rios no son ya obstáculo ninguno, ni la profundidad de sus aguas, para afianzar sobre terreno firme los estribos de los puentes. Como no exceda de 40 metros la profundidad del agua ó de los fangos, puede el obrero, sin temor á lesiones permanentes en su organismo, descender, dentro de un tubo, abierto por la parte inferior y cerrado por la superior, hasta el lecho del rio, y allí asentar impunemente los cimientos, merced al aire comprimido, que, por su impenetrabilidad, impide el acceso de las aguas por la parte inferior, equilibrando la presion externa del medio inconsistente en que el obrero hidráulico trabaja.

El aire comprimido es, pues, el agente obligado de que el ingeniero no puede prescindir en los trabajos bajo el agua, en las atmósferas irrespirables, en los terrenos inconsistentes, en las minas cuyas riquezas yacen bajo arenas anegadas, en la perforacion de los grandes túneles de 12000 metros, como el del Mont-Cenis; de 14900, como el que actualmente se perfora á través del San Gotardo (2); de 30000 cuando ménos, como el que se proyecta establecer

---

La presion hidráulica, como se sabe, es de 31 gramos próximamente por cada 30 centímetros bajo el nivel.

El último modelo tiene $5^m,18$ de largo, 38 centímetros en su parte más ancha, y $^1/_2$ centímetro de espesor en la plancha de acero. En los ejercicios se usa una presion de $52^k,790$ por centímetro cuadrado. La presion de combate es de 70 á $85^k$. La velocidad es de 20 á 27 millas á la hora. La carga explosiva es de algodon-pólvora.

No ménos de 25 buques echaron á pique los Confederados en la guerra de secesion de los Estados-Unidos del Norte de América. Un torpedo con $25^k$ de algodon-pólvora, colocado á $12^m$ de profundidad, levanta un cono de agua marina de $18^m$ de altura por 70 de diámetro en su base. No hay buque acorazado capaz de resistir la erupcion de semejante volcan.

(1) Triger, francés, propuso en 1839 esta aplicacion, ocasion y orígen de todos los progresos posteriores. Triger, por tanto, debe ser considerado como el feliz promotor de la Pneumo-dinámica.

(2) En el San Gotardo hay 16 compresores de aire movidos por turbinas de bronce, que dan 155 millones de vueltas al año, y que al cabo de 5 años de servicio apenas han exigido composturas. La compresion se lleva á 8 atmósferas, y ella basta para mover de 18 á 20 taladros á cada lado del túnel. En cada lado del túnel hay muchos centenares de hombres, muchas lámparas, y el aire se vicia además por 300 kilógramos de dinamita, que estallan diariamente. Estaban perforados como 12 kilómetros (6100 metros en el lado Norte y 5390 en el Sur, á fines de marzo 1879). Los trabajos no se han suspendido un solo dia, y requerirán 8 años desde su inicio hasta su terminacion. La gran dificultad con que tropieza la obra, no está en la dureza del granito, descuajado á razon de 4 metros por dia, ni en la del gneiss, á razon de 6, sino en las masas de feldespato descompuesto, mezcladas con yeso, que hincha la humedad y ejercen presiones de fuerza tan tremenda, que, no solo aplastan las más resistentes viguerías, sino hasta los arcos de granito. El túnel tendrá $14800^m$, y estará á $1154^m$ sobre el nivel del mar. La entrada Norte está cerca de Goschenen, en el canton suizo de Uri, donde se habla aleman,

bajo el canal de la Mancha, para que la locomotora vaya de Francia á Inglaterra y de Inglaterra á Francia (1).

## V.

Y el aire comprimido no limita su accion á solo los lugares en que es imprescindible é irreemplazable, como en los trabajos submarinos y subterráneos, donde el hombre ha de respirar. No: se atreve á luchar, y lucha ya con ventaja al aire libre, donde otros medios pueden hacerle competencia.

No solo ventila las minas y los túneles (2), sino que líneas de tranvías funcionan por su agencia hace tiempo en varias partes de Europa y de América (3):

---

y la Sur en el canton de Tessino, donde se habla italiano. Los mayores túneles antes existentes eran: el Cenis, 12216$^{m}$; el Hoosac, 7632; y el Sutro, 6149.

(1) Tambien se está pensando en un túnel gigantesco, á fin de unir á Europa con África por debajo del Estrecho de Gibraltar. Este túnel intercontinental partiria de un punto situado entre Tarifa y Algeciras, en la costa de España, y desembocaria entre Tánger y Ceuta en la costa marroquí, atravesando el Estrecho. El túnel sería recto y de 7 metros de ancho. La mayor profundidad del mar en el trayecto es de 819 metros, y la galería descenderia hasta 900 bajo el nivel del Océano. (*Porv. de la Ind.*, setiembre 1876.)

(2) En contra debe notarse que ahora precisamente hay accidentes en minas que, á no ser por el aire comprimido, no se habria pensado siquiera en explotar.

Pero es seguro que sin la activa ventilacion que proporciona el aire comprimido, no podrian sanear los mineros las atmósferas viciadas de los túneles en vias de ejecucion.

Cada metro cúbico de roca requiere, segun su dureza, de 1 á 1 $^1/_2$ kilógramos de dinamita: cada kilógramo de dinamita da cuando ménos 15 metros cúbicos de humo.

La gelatina explosiva de Nobel da más aún (*). Cuando se empezó el túnel del Cenis anunciaron varios profetas de desdichas, que sería imposible ventilarlo, é inaguantable la temperatura.

---

(*) Esta gelatina está compuesta de 94 á 95 % de nitro-glicerina y de 6 á 5 % de colodion. Es un líquido viscoso é inalterable en el agua, lo que no le pasa á la dinamita.

(3) La *Second Avenue Street Railway Company* de Nueva-York, experimentó un coche movido por el aire comprimido; y, habiendo salido satisfactoriamente el experimento, resolvió continuarlos en mayor escala desde Harlem River á Pek Slip. Velocidad de 16 á 18 millas á la hora. Una máquina de vapor de 70 caballos en Harlem, comprime el aire. Los recipientes de aire se cargan en 5 minutos: son tubos de 2 piés en diámetro. Los inventores son ROBERT HARDIES Y J. JAMES de Glascow, Escocia. Mr. HENRY BUSHNELL, de New-Haven, Conneticut, ha probado otro coche aero-motor. Los cilindros motores del coche son de 2 $^3/_4$ pulgadas de diámetro, y los mantiene calientes un pequeño compresor movido por las ruedas del coche. Los recipientes son tubos de 27 piés de largo y solo 8 pulgadas de diámetro: á la partida el manómetro indica 1800 libras, á la vuelta 1500. El aire al escaparse no hace ruido, porque atraviesa por una masa de cabello rizado ó ensortijado.

Los motores de aire comprimido sistema MÉKARSKI siguen funcionando en París. En la última Exposicion ha presentado el inventor un coche auto-móvil para tranvías, un remolcador para tranvías, una locomotora para minas, y un aparato para distribucion de la fuerza á domicilio. Los depósitos de aire están bajo los coches auto-móviles, y el aire, antes de pasar á los cilindros motores de las ruedas, atraviesa por un depósito de agua caliente. Tanto del aire comprimido como del agua caliente, hace provision cada coche á la cabeza de la línea antes de partir. (Véase el capítulo último de este libro.)

las bestias de tiro deben en nuestros dias reservarse para traccion de más inteligencia. Locomotoras de aire comprimido trabajan ya satisfactoriamente en el San Gotardo. El aire, á gran densidad, es el agente indicado para la traccion por ásperas montañas. Ventiladores de aire comprimido, análogos al inyector Giffard, están emulando á los de vapor (1). El martinete de aire comprimido se recomienda como más eficiente que el martinete de vapor (2). En la Bay of Mobile los confederados, en 1862, fijaron por presion pneumática 5000 pilotes en arena para defender la entrada (3). El aire á presion superior á la atmosférica, distribuye la correspondencia por tubos subterráneos en algunas de las ciudades más adelantadas de la tierra (4). Sirve para señales telegráficas. Normaliza la hora en toda una ciudad (5). Reduce ó agranda los dibujos en pantógrafos pneumáticos (6). Se le utiliza como freno, y pára los trenes con suma rapidez. Pica las limas embotadas, lanzando contra ellas un chorro de arena muy menuda; medio igualmente eficacísimo para grabar primorosamente el cristal (7). Mueve los perforadores de las rocas. Inyecta enormes cantidades de aire en los altos hornos. Produce calor. Produce hielo (8). Sustituye á las bom-

---

(1) Pero los compresores cilíndricos continúan compitiendo contra los ventiladores rotatorios, porque aquellos no necesitan la tremenda velocidad de éstas, en los cuales aumentan las pérdidas ampliamente con el aumento de presion. Las correas para grandes velocidades requieren gran cuidado; y, si falta la inyeccion del aire, queda en suspenso la accion.

(2) Entre otros, el martillo atmosférico de Chenot y Golay, París.

(3) Ejecutó la obra el entonces teniente de ingenieros John W. Gleen.

(4) En Berlin se usan tubos de 6 $^{1}/_{2}$ centímetros, y á la vez la compresion y la rarefaccion. El aire comprime el tren de las cartas por un lado, mientras se hace el vacío por otro. La compresion es á 3 atmósferas, y la rarefaccion á 35 milímetros de mercurio: la velocidad de los trenes es de 1000 metros por minuto. Cada 15 minutos sale un tren.

(5) Donde millares de personas tienen intereses recíprocos, la pérdida de un minuto puede traer perjuicios de semanas y aun de meses en el trabajo. De aquí la importancia de la regularización de los relojes. Hace más de 2 años que un sistema de relojes pneumáticos distribuye la hora en Viena por medio del aire comprimido. La distancia importa poco: el principio es el siguiente. Si una columna de aire encerrado en un tubo es comprimida de pronto, inmediamente transmite la presion á todas partes. El Observatorio imperial da la hora á un reloj normal que comunica, por medio de tubos, con los de la ciudad que él regula. A intérvalos permite el reloj normal la súbita compresion del aire, y ésta se comunica á todos los demás y mueve los relojes distantes. En París ha debido hacer ensayos la *Societé des Horlogers*. El inventor del sistema es Mairope, y el que lo ha puesto en condiciones prácticas es Victor Popp. En los mismos principios está fundado el regulador pneumático inventado por Muyridge, de San Francisco de California.

Parece que las nuevas modificaciones han hecho seguros estos aparatos.

(6) El pantógrafo circular pneumático es invencion de Guerin.

(7) El picado de las limas por una lluvia de arena lanzada por el aire comprimido sobre las limas, es invencion de Richardson Brigdeport, Conneticut, y se usa con gran éxito en muchas importantes poblaciones industriales del Norte de América.

(8) Pablo Giffard comprime el aire de 2 á 3 atmósferas: lo enfria por medio del agua, y luego le permite dilatarse súbitamente en un cilindro que llama de expansion, y el aire restituye el trabajo empleado en comprimirlo, produciendo un descenso bajo cero de 40 á 50° C., que luego se utiliza.

Como se ve, este sistema suprime todas las sustancias químicas, empleadas en otros apa-

bas que hacen ascender los líquidos: mezclado en burbujas con el agua dentro de un tubo vertical, constituye una mezcla de mucha menor densidad que el agua, lo que permite elevarla á mayor altura que la correspondiente á una columna de líquido homogéneo, dada una particular presion.

En 1864 se construyeron en Nueva-York balsas de aire comprimido, cuya solidez era tal, que una atravesó el Atlántico en 1867, lo que no ha impedido proponer nuevos modelos y eficaces mejoras en la sesion de 1874, celebrada en Lille por la *Association française pour l'avancement des sciences*. En la marina rusa se han adoptado sacos de aire en forma cilíndrica, de $6^m$ de largo y $3\,{}^1/_2$ de diámetro, construidos con 3 lonas embetunadas, entre las cuales existen telas impermeables: cuerdas gruesas los rodean; porque estos enormes sacos están destinados á sacar del fondo de los mares los grandes cañones sumergidos, las anclas perdidas..... y es preciso defenderlos de las rocas y asperezas de los fondos, que pudieran desgarrarlos: llenos de aire tienen una fuerza ascensional de 60 toneladas.

Por medio del aire comprimido se ha propuesto sacar, y se han sacado á flote embarcaciones idas á pique (1). La hidroterapia cuenta con chorros salutíferos, que conmueven y azotan la epidermis del paciente con la fuerza de 3 atmósferas, gracias al aire percondensado (2).

Para evitar en las minas los efectos desastrosos de los gases de la pólvora, han inventado MAC-NAB, de South Wales, y despues MARSH, el cartucho de aire comprimido á 500 atmósferas para desgajar los bloques de carbon: despues se ha llegado á comprimir el aire á 1323 atmósferas. El cartucho es de hierro y de $11\,{}^3/_4$ pulgadas. El cartucho se coloca ajustadísimo en el taladro (3), y en él se va inyectando el aire hasta que revienta, con un efecto igual al de la pólvora.

---

ratos para la produccion del frio artificial, tales como el ácido sulfuroso, asfixiante é irritador de los pulmones y los bronquios; el amoniaco, que exige enormes presiones de 15 á 20 atmósferas; los éteres, etc., etc., y demás agentes inflamables y explosivos. Este sistema elegante produce el frio á distancia. Empleando para comprimir el aire máquinas de Farcot—que no queman más que $1^k$ por hora y por caballo—la tonelada de hielo cuesta 5 francos en París. El hielo resultante es durísimo y transparente.

(1) Camello flotador de CLARK y STANDFIELD, de Westminster: dique flotante NICOLAIEFF, etc.

(2) El aparato de IVERNEAU, de París, permite graduar la presion de 1 á 3 atmósferas. El baño americano de lluvia, inventado por BOZERIAN, de París, permite, no solo la graduacion, sino que obliga al paciente á hacer ejercicio, pues con el peso de su cuerpo, alternativamente apoyado en pedales, tiene que comprimir el aire á la densidad requerida.

(3) Ha sido necesario inventar un taladro de precision, porque, si el cartucho no está en contacto con las paredes del barreno, el efecto es poco considerable. La máquina de comprimir á tan fabulosa presion es obra de GARFOTH, de Dunkinfield, y se da probada á 946 atmósferas. En esta máquina admirable puede permanecer el aire á esa densidad horas enteras, y tambien en el cartucho. Los cartuchos son de una perfeccion tan notable, que estallan todos á predeterminada presion.

# VI.

Verdaderamente, ingenieros de nota sostienen todavia que no debe recurrirse al aire comprimido más que cuando y donde no puedan emplearse las fuerzas del agua ó del vapor; y de cierto defienden su dictámen con copia de razones, toda cuya eficacia es relativa, por estribar únicamente en el escaso rendimiento actual de las máquinas de aire.

Pero no hay hombre científico en el mundo que no proclame que el agente por excelencia de transmision (1) y distribucion de la fuerza á grandes distancias es el aire comprimido, en las minas, los túneles, y en cuantos sitios de atmósferas viciadas se le necesite irremisiblemente para respirar.

Solo la novísima invencion de la transmision de la fuerza por medio de la electricidad, podria hacerle competencia en determinados casos y especiales condiciones.

En efecto, toda fuerza de agua ó de vapor, y hasta de sangre, engendrada en la superficie de la tierra, puede transmitirse en aire comprimido (por medio de delgadas tuberías, de instalacion siempre fácil y económica, así sean metálicas ó de caoutchouc), hasta donde no sería hacedero de ninguna manera que funcionasen ni el agua ni el vapor. Cualquier fuerza puede así prolongarse, ya descendiendo hasta el fondo de las minas, ya trepando á la cúspide de los montes, ya penetrando por las entrañas de los túneles á distancias de muchos centenares y millares de metros; y, DONDE QUIERA, es dable fraccionar esa potencia en todas proporciones (lo que un dia hará del aire comprimido el único y exclusivo motor de las industrias urbanas); y Á CUALQUIERA HORA puede la energía de ese resorte caminar autonómicamente en todas direcciones, sin cuidarse de las diferencias de nivel, sin espantarse de las sinuosidades y recodos del camino—(obstáculos insuperables á toda otra clase mecánica de transmision)—sin estorbar con su tamaño; sin tener prisa por ponerse al trabajo inmediatamente; sin perder de su potencia por aguardar mucho tiempo; lista siempre, de dia, de noche, á las exigencias de la produccion; obediente á la voluntad del maquinista; sin regatear la fuerza (50 caballos-vapor, por el intermedio de un tubo de 20 centímetros de diámetro trabajaron en el Monte Cenis á 6000 metros de la fuerza hidráulica que comprimia el aire); sin poner restricciones á la presion, ya sea baja, ya media, ya muy alta; sin exigir canalizaciones especiales de evacuacion para salir de los lugares á donde ha llevado su fuerza bienhechora, antes bien ventilándolos enérgicamente, saneándolos, y contribuyendo así á la higiene del trabajador, con especialidad en las minas y los

1) Las cuerdas, y los cables en el arrastre de las minas, consumen á veces hasta el 75 °/o de la fuerza motriz.

túneles; ya funcione en máquina fija, ó ya, en fin, remolque sobre férreos carriles las riquezas arrancadas á la avaricia de la tierra, ó las enormes rocas dislocadas de cuajo por la dinamita en las interminables horadaciones de las ingentes montañas.

Todo lo nuevo encuentra detractores, y la rutina tiene á gala maldecir de la mejor innovacion (sin perjuicio, por supuesto, de regalarse luego con sus ventajas); pero en este asunto bien puede interrogarse á los detractores y á los rutinarios mismos, y hasta constituirlos en jueces, con la certeza de que habrán de fallar en contra de sus repugnancias y objeciones.

Decid: ¿á qué otro medio diferente de la compresion del aire atmosférico se puede recurrir para movilizar una fuerza motriz, cuando la distancia es muy larga ó cuando el trayecto está lleno de sinuosidades, ó bien cuando á la vez es largo y sinuoso, como en las galerías de las minas? Ni aun los cables teledinámicos serían medio práctico tratándose de muchos kilómetros en línea recta, y resultarian enteramente inaceptables para las líneas quebradas. ¿Los alambres eléctricos? Efectivamente, la fuerza se transmite á distancia; pero hasta ahora muchísima parte se queda en el trayecto. Además, para la transmision eléctrica, se necesita que el motor principal no esté parado, sino en movimiento. Una máquina Gramme mueve á otra; pero como una polea, por medio de correas, pone á otra polea en movimiento. Si la primera está parada, la segunda no se mueve. El motor que ha comprimido aire puede reposar y estar parado, mientras que el aire comprimido puede poner en movimiento muchos aero-motores, fraccionando su potencia en toda clase de proporciones, lo que no es dado á la transmision eléctrica. Y en cuanto á baratura, decidnos, ¿qué medio de transmision puede compararse con el del aire comprimido, si sus tubos han de ser siempre más delgados que los de una canalizacion para el vapor ó el agua, ó el alambre gruesísimo de cobre que transmita la accion eléctrica?

Por mucho que puedan perder las más prolongadas tuberías para el aire, inmensamente más perderán, de fijo, las canalizaciones para el agua y el vapor, por efecto de los rozamientos y extrangulaciones. Decid: ¿cuál transmision, sin exceptuar la eléctrica, podrá parangonarse con la del aire comprimido respecto á la facilidad de instalacion? ¿Cuál puede aislarse completamente de su motor? ¿Cuál no consume alguna fuerza cuando interrumpe su trabajo? ¿Cuál conserva íntegramente toda su energía cuando huelga? ¿Cuál no pierde al distribuir su potencia en toda clase de fracciones? Con correas no es posible esa distribucion grátis y á distancia, ni con la electricidad tampoco. ¿Existe alguna otra transmision más dócil, más dúctil, más obediente á los caprichos del ingeniero, más sumisa á las necesidades de la industria, más permanente, que estorbe ménos, que no ofrezca peligros? ¿Podria un tubo de vapor, sin que el gas se condensára, conducir la fuerza de su caldera á kilómetros de distancia? ¿Quién subia el agua de un rio que hubiese movido mecanismos cualesquiera en el fondo de una mina?

Nadie puede contestar á estas preguntas sino favorablemente al aire comprimido, porque él es el único agente fácil, barato y capaz de transmitir en cualquier tiempo la fuerza del hombre ó de las potencias naturales á donde nadie hubiera podido pensar en utilizar su accion para el movimiento de las máquinas (1).

## VII.

Con un agente, pues, que tan perfectamente conserva, como guia y distribuye la fuerza en él depositada, ¿qué rio atravesará una gran poblacion sin que la industria, dentro de muy breve plazo, recoja y almacene en aire comprimido la energía que lo empuja hácia los mares? ¿Qué playa no atesorará el movimiento de sus olas? ¿En qué mina ocupará á un sér inteligente la no intelectual tarea de dar golpes para desprender las masas minerales? ¿Ni quién tendrá interés en que el obrero continúe de máquina, siendo tan exígua la importancia de sus fuerzas musculares comparadas con las hercúleas fuerzas del aire comprimido?

¿Quién, por el contrario, no tendrá interés en que descargue los golpes un motor ciclópeo, de pujanza incomparablemente mayor que la del hombre, á quien no rinda nunca la fatiga, y que no esté sujeto á las intermitencias del sueño y el cansancio, inevitables y periódicas? ¿No puede hacerse todo á máquina en las minas? ¿A quién convendrá, de aquí á muy pocos años, que el obrero no se eleve á la dignidad de hombre? ¿Quién no ha desdeñado la insignificante fuerza de los músculos en las colosales empresas del Cenis y del San Gotardo? ¡Quién sabe si las máquinas de aire comprimido, con preferencia á todas las demás,

---

(1) Indudablemente el feliz promotor de la Pneumo-dinámica, el famoso Triger, fué el primero que se sirvió—con verdadera generalidad científica—del aire comprimido para transmitir fuerza á distancia, es decir, con refleja sistematizacion. A él corresponde, por tanto, todo el honor de las aplicaciones modernas, á ménos que no se considere el intento de Papin, citado en la nota al fin de la Seccion IV, como título mejor al honor de la prioridad.

Pero en un curiosísimo libro, hoy muy raro, titulado *Dictionnaire encyclopédique des amusements des sciences mathématiques et physiques*, donde las suertes de naipes y los juegos de cubiletes se hombrean con excelentes datos de aritmética, geometría, gnomónica, astronomía, óptica, magnetismo, etc., se encuentra á las páginas 680, 681, 682, 683 y 684. la descripcion de una *suerte nuevamente inventada*, en que, por la fuerza del aire comprimido, se envia á toda la longitud de un gran jardin, á través de tubos colocados bajo tierra, una respuesta misteriosa, que luego se encuentra dentro de una gaveta, cerrada con llave, en un portentoso pabellon, cuyas puertas se abren y se cierran en virtud de potencias invisibles, cuyo pavimento oscila como un buque en alta mar, donde, por maravilloso modo, los ruidos más estridentes ponen miedo en el ánimo, y aparecen y desaparecen esqueletos y figuras espantosas, etc., etc. El artículo está firmado Decremp.

En *The Engineer* se dice en un artículo titulado *Transmission of Power to a distance*, que hace medio siglo Mann propuso y describió los medios de transmitir fuerza á distancia por el aire comprimido.

están llamadas á realizar en corto plazo la emancipacion de los séres racionales, que hoy trabajan tanto materialmente, sin ocuparse en nada intelectual!

El peso del agua elevada en vapores por el sol á los picos de los montes, continuará siendo el motor más barato; y la combustion del carbon, que reduce el agua al estado aeriforme, seguirá siendo el motor más general; pero el aire comprimido movilizará todos los agentes naturales, incluyendo las aguas de los montes y la fuerza expansiva del vapor, porque el aire comprimido es la única fuerza que no pierde al conservarse, ni exige gasto alguno al fraccionarse y distribuirse.

## VIII.

Ya es enorme el consumo que en la actualidad se hace de aire comprimido, donde, además de su fuerza, hay que utilizar sus propiedades físicas y químicas para la respiracion (1), la combustion en los altos hornos, y la reduccion en los aceros Bessemer.

Los compresores de Airolo en el San Gotardo envian cada minuto al interior del túnel 160 metros cúbicos de aire, tomados á la atmósfera y comprimidos á la presion desde 6 atmósferas á 8.

Las modernas ventiladoras están hechas para introducir en los altos hornos, cuando ménos, $200^{m^3}$ de aire por minuto á la presion de más de $1\ {}^1/_3{}^{atm}$ (2). Ventiladora hay en ejercició hace muchos años que inyecta en los hornos á la presion de $1^{atm},30$ el inmenso volúmen de $1230^{m^3}$ por minuto (3): el interior de algunos teatros no contiene tanto. Junto á esta ventiladora palidecen las gigastescas máquinas que suministran cada minuto á los hornos 400 y 600 metros cúbicos.

---

(1) Entre las muchas ventajas del aire comprimido para el trabajo subterráneo, es considerable la siguiente:

El aire percondensado en lo alto de una mina tiene mayor presion en lo bajo al funcionar sobre el aero-motor, debida al peso de la columna pneumática, que baja desde el compresor al aero-motor. Este fenómeno está comprobado en las minas de carbon de Rihope y Shireoaks, en las de Duffryn y en las de Kingwood, Bristol, y testificado por hombres de tanta práctica como sus respectivos ingenieros Elliot, Snape y Johnson.

Con el aire comprimido á 3 atmósferas en la superficie, aumenta la presion próximamente $^1/_2$ kilógramo por centímetro cuadrado á cada 100 metros de profundidad; dato práctico independiente de toda hipótesis teórica sobre rozamientos, etc. Así, en las minas del Sur de Gales es cada vez mayor el uso del aire comprimido, que ha reemplazado ya, ó tiende á reemplazar enteramente todo acarreo por motores animados. En algunas de estas minas, los ingenieros llevan 10 años de experiencia.

(2) El ventilador de Root da 5000 piés cúbicos de aire por minuto á la presion de 10 pulgadas de agua; los pistones de este blower son de madera saturada de petróleo.

(3) La de Ebbw-Vale (país de Gales).

El volante es de $9^m,35$ y pesa 85 toneladas.

| | |
|---|---|
| Diámetro del piston del vapor. | $1^m,83$ |
| Carrera . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 3 ,66 |
| Vueltas al minuto. . . . . . . . . . . | 17 |

# CAPÍTULO II.

## RENDIMIENTO DEL AIRE COMPRIMIDO.

I.

Con ser tantas las ventajas, el aire comprimido presenta en la actualidad un sério inconveniente,—sus escasos rendimientos.

Hoy devuelve este agente una reducida fraccion de la fuerza que el motor primario hubo de gastar en comprimirlo y almacenarlo, listo para servir. De 100 kilográmetros consumidos en la condensacion, solo devuelve el aire comprimido de 20 á 35; y en muy buenas condiciones 40, y 50 lo más. Y, sin embargo, á pesar de tan mezquinos rendimientos (secundarios cuando no hay otro recurso á que acudir, como en los trabajos submarinos y subterráneos, y en las transmisiones á distancias kilométricas) el sistema de la distribucion de la fuerza á domicilio no costaria más caro que la produccion del vapor en las pequeñas máquinas que usan las reducidas industrias urbanas; las cuales consumen 4 kilógramos de carbon por hora y por caballo; y presentaria las grandiosas ventajas de ser imposibles las explosiones, los riesgos de incendio y de lesion personal, la reduccion de los alquileres, la facilidad de la instalacion, el ahorro de jornales á los fogoneros ó maquinistas, ya innecesarios, la dispensa de capital adelantado para la compra arreglada de combustible, el aseo, y la ventilacion y saneamiento de los talleres; y en verano, por un medio muy fácil aunque tal vez costoso, el descenso de la temperatura trabajando con exagerada expansion.

II.

¿Qué motivos pueden existir para tan enorme pérdida de la potencia primitiva?

Dos están reconocidos por todo el mundo:

1.° Las resistencias pasivas;

2.° Los cambios de temperatura.

III.

Para comprimir un gas se necesita:

| | | | |
|---|---|---|---|
| A. | 1.° | Una máquina primaria. | turbina, rueda hidráulica, vapor, fuerza muscular, etc. |
| | 2.° | Un compresor....... | máquina absorbente de la fuerza disponible del motor primario. |

Para utilizar el aire cuando ya esté convenientemente comprimido, se requiere:

| | | | |
|---|---|---|---|
| B. | 1.° | Una canalizacion que | lleve el aire percondensado al aeromotor, ó máquina que se mueva por la potencia del aire comprimido. |
| | 2.° | Un aero-motor....... | máquina restituyente de la potencia almacenada en el aire comprimido por el motor primario. |

Ahora bien: gran parte de la fuerza aplicada al motor primario es absorbida en pura pérdida por los rozamientos, choques y demás resistencias pasivas;

Lo mismo sucede en el compresor;

Las hay igualmente en la canalizacion;

Se encuentran, en fin, en la máquina movida por el aire.

De manera, que la potencia aplicada al motor primario sale del aero-motor disminuida en todo cuanto se ha perdido, por razon de resistencias inevitables, en la máquina primaria, el compresor, la canalizacion y la máquina movida por el aire comprimido.

Pero, por grande que sea la fraccion de fuerza gastada en las resistencias pasivas, mucho mayor es la pérdida por los cambios de temperatura.

Entremos en pormenores, prescindiendo enteramente por ahora del motor primario.

Habremos de hablar, pues, de los compresores, de la canalizacion y del aeromotor.

IV.

Llenos de inconvenientes los aparatos de las forjas catalanas, los de choque ó golpe de agua, etc., el aparato principalmente empleado en la actual industria para comprimir el aire tomado de la atmósfera es un cilindro provisto de su piston, muy semejante todo á lo que en las máquinas de vapor se usa. El pis-

ton, al caminar en un sentido, aspira el aire atmosférico, mediante el juego de una ó más válvulas convenientemente dispuestas: al mismo tiempo la otra cara

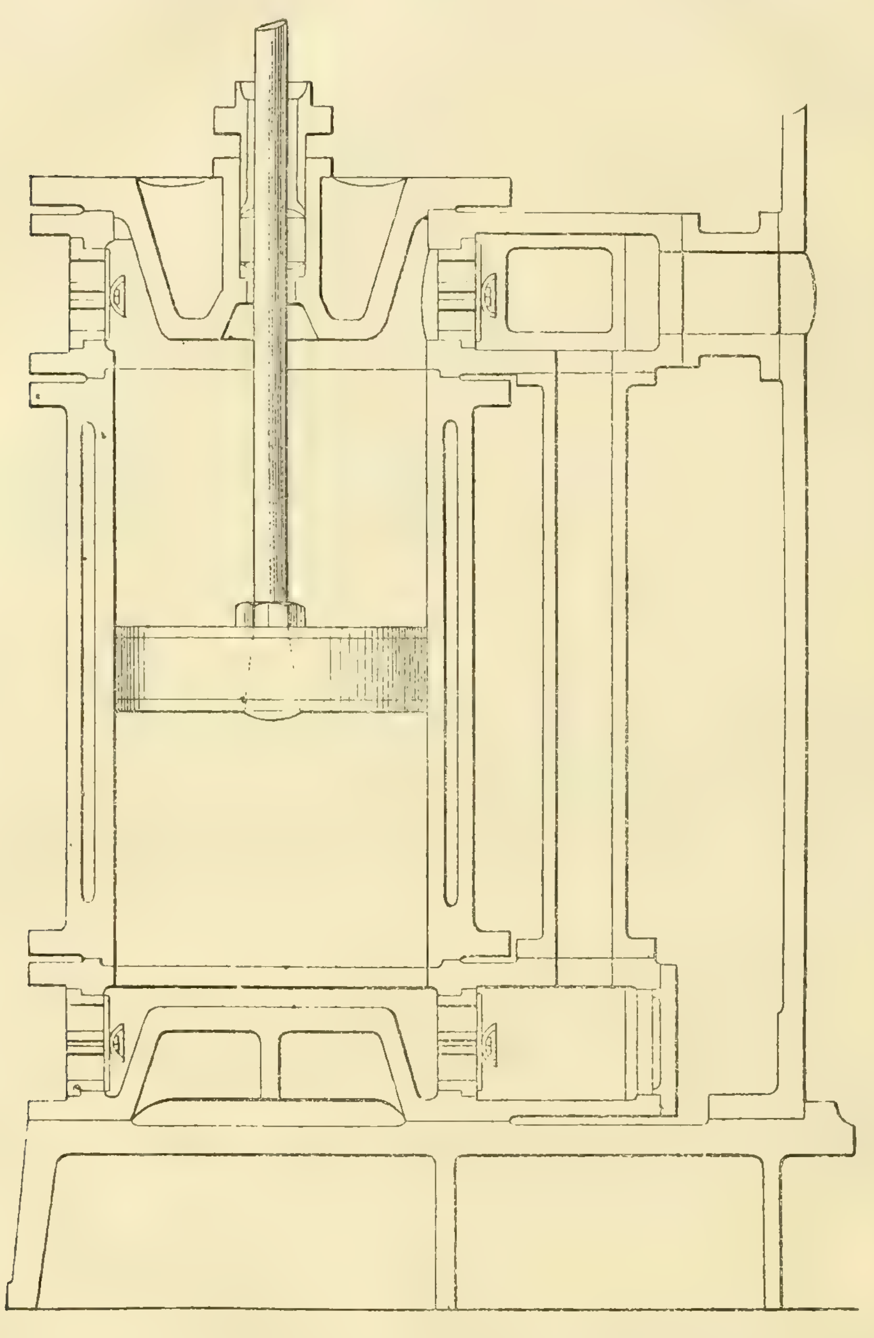


Fig. 58.

comprime y expulsa en seguida el aire préviamente introducido mediante el juego adecuado de otras válvulas. En la marcha retrógrada del piston, la cara

que antes aspiró el aire de la atmósfera, lo comprime y expulsa á su vez, miéntras la otra cara hace nueva provision de flúido para el viaje siguiente; y así durante período indefinido. En la figura, el aire se aspira por las válvulas de la izquierda (superior é inferior) y se expulsa por las de la derecha. El aire arrojado fuera del cilindro va por una tubería, á un depósito donde el gas queda almacenado hasta que por otra tubería es conducido á donde se le necesita, para utilizar su fuerza, su impenetrabilidad, ó sus facultades reductivas.

Como el piston de comprimir el aire no entra en los espacios donde juegan las válvulas, el aire que en ellos se acumula durante la compresion de la gran masa total, se queda naturalmente sin salir. La compresion se verifica en pura pérdida; porque, al retirarse el piston, el aire se vuelve á dilatar. Solo esto produce un gasto, calculado en 5 % como término medio mínimum en los buenos compresores. Especialmente en los compresores medianos, esta pérdida no se puede de ningun modo despreciar.

## V.

Pero, comparada con la que puede ocasionar el calor, esa pérdida es tambien insignificante.

Sabemos que cuando se comprime un cuerpo, se juntan sus moléculas, y que al propio tiempo se exterioriza una cantidad considerable de calor.

Pues el desarrollo de calor es tan considerable en los cilindros compresores cuando se condensa aire seco á 6 ú 8 atmósferas, que las válvulas, si son de caoutchouc, se funden; y si de cuero, se tuestan, queman é inutilizan; las grasas lubricantes se descomponen; los empaquetados y cajas estoperas se deterioran con suma rapidez; todas las guarniciones y juntas del piston quedan pronto fuera de servicio, si son de materias orgánicas; y el repuesto de todos estos órganos se hace costosísimo. Tal es la elevacion de la temperatura que, á la presion de $7^{atm},5$, el calor del aire pasa de 250 grados centígrados. El azufre se fundiria á 109; el estaño á 215; el bismuto á 254. A la presion de 15 atmósferas el calor del aire llega á 370 grados. Ya á 316° se funde el plomo.

## VI.

Pero, con resultar tan desastrosa esta gran elevacion de temperatura, sus efectos no serían tan en extremo onerosos y perjudiciales, á no amenguarse considerablemente, por su causa, el rendimiento del trabajo primario invertido en la compresion.

Con efecto, el calor dilata los cuerpos; y el que se produce dentro del cilindro hace que las moléculas del aire no se junten todo lo que, sin tan alta temperatura, habrian de juntarse. Pero el aire comprimido se enfria por com-

pleto á poco de su salida del cilindro; las moléculas se aproximan de nuevo una cierta cantidad; y, si en el compresor, por el doble efecto del calor molecular interno, ó dinámico,—y del calor externo, ó termométrico, tenia el aire una tension total de 8 atmósferas, por ejemplo,—no tiene ya, á causa de su inmediato enfriamiento, no bien entra en el almacen, ó, lo que es lo mismo, á causa de la disipacion de uno de los calores componentes, más que una tension como de 6 atmósferas, que es la que corresponde al solo calor dinámico interior. Esta rápida aproximacion de las moléculas, producida por el enfriamiento, reduce, en nuestro ejemplo, á tres cuartas partes próximamente el rendimiento del motor primario; y, cuando nos prometíamos almacenar aire á 8 atmósferas, porque á tal tension se hallaba en el cilindro compresor, nos lo encontramos en el depósito, despues de enfriado, con solo una presion de 6, lo cual nos obliga, para obtener realmente en aire frio la tension de las 8 atmósferas, á comprimirlo, cuando está caliente, nada ménos que hasta la tension de 10 ú 11, ó más; gastando así en pura pérdida ese exceso de 2, ó de 3....., atmósferas, innecesario sin el desprendimiento de calor termométrico (1).

Es, por consecuencia, extraordinariamente mayor de lo debido el trabajo á que nos obliga ese enorme desarrollo de una violenta temperatura que tan pronto se va: ¡oneroso trabajo, de que no podemos prescindir, á no anular todo el calor que se exteriorice!

Ese calor fugaz exige un motor mucho más potente que si la temperatura permaneciese invariable, y obliga á gastos que sacan de sus condiciones económicas á la mejor pensada explotacion. El ingeniero busca solo aumento de tension en el resorte por excelencia, que es el aire; es decir, almacenamiento, en sus moléculas, de calor dinámico, no sensible: cuenta solo con las resistencias naturales del resorte, y se encuentra con que la exteriorizacion del calor termométrico, fugaz y desastrosa, aumenta inútilmente dentro del cilindro compresor las fuerzas del aire comprimido, y sus resistencias, por lo tanto; para luego no tener en el almacen más que una fraccion del trabajo gastado en mover el piston.

Resulta, pues, lastimosamente perdido todo el trabajo que se exterioriza en calor; y es de absoluta necesidad, por consiguiente, anular ese calor termométrico al compás mismo de su produccion; para que el aire comprimido almacene únicamente y guarde en forma de resorte, ó de calor dinámico, no sensible, todo

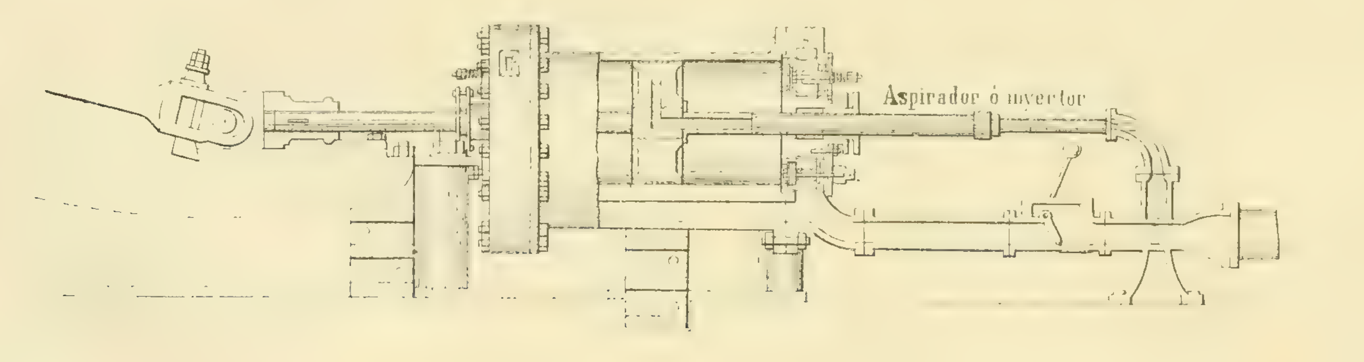
---

(1) El maquinista de una locomotora, dice TINDALL, obtiene del calor su movimiento, y por tanto no quiere reobtener calor, sino producir velocidad; y, para no reobtener calor, lubrica los ejes de su carro, porque cada grado de calor que obtenga en los ejes, tendrá que restarse de la fuerza propulsora de su máquina. Si luego el calor de los ejes pudiera sacarse de ellos y aplicarse al movimiento, nada se habria perdido más que el tiempo; y hé aquí cómo el que engrasa una máquina afirma, consciente ó inconscientemente, como dice TINDALL, la convertibilidad y la indestructibilidad de la fuerza, afirmacion característica de la dinámica moderna.

# COMPRESOR

(Frente á la pág. 207.)

DE VÁSTAGO HUECO, PARA FUNCIONAR
COMO BOMBA ASPIRANTE É IMPELENTE.




COPIADO
DE LOS
ANNALES DES PONTS ET CHAUSSÉES
de Juin 1875.

el trabajo invertido exclusivamente en la compresion; ó, si no todo, porque eso no es posible, la mayor parte de él.

## VII.

Por fortuna existen medios suficientes á evitar que se convierta en calor tan gran parte del trabajo invertido en comprimir. Con efecto, todo el calor que se exterioriza puede anularse, con excepcion acaso de una reducida fraccion; como pueden, con enérgicas lubricaciones, desaparecer en las buenas máquinas los grandes rozamientos. Anulado ese calor, que aumenta innecesariamente las resistencias del resorte, se ahorra toda la no despreciable fraccion de la potencia del motor primario, absorbida por la elevacion de la temperatura; bien así como, destruidos los rozamientos, se economiza toda la fuerza necesaria para vencerlos. Y entonces queda almacenada en forma de presion dentro de la masa misma del aire percondensado, toda la energía ó el calor, invertido en la aproximacion de las moléculas: de un modo semejante existe potencialmente en un grave, suspendido sin rozamientos á una determinada altura del suelo, toda la energía invertida en hacerlo subir á tal distancia.

## VIII.

Para absorber el calor desastroso exteriorizado durante la compresion del aire, se empezó naturalmente manteniendo siempre sumergidos en agua á la temperatura ambiente, los cilindros compresores; ó bien haciendo circular á su alrededor una corriente del mismo líquido, á fin de reemplazar con agua fria la calentada por su contacto con las caldeadas superficies cilíndricas. La experiencia demostró que esta circulacion no bastaba para producir un enfriamiento enérgico; y la circulacion de agua se fué ampliando sucesivamente á los fondos, y luego á las garitas de las válvulas, y, por último, al piston y su vástago, naturalmente huecos para lograr este fin. Al efecto, el vástago funcionaba como una bomba aspirante é impelente (1). *(Véase la lámina adjunta).*

Pero este enfriamiento no era ya eficaz si se condensaba el aire en los compresores usuales más allá de 4 ½ atmósferas, porque la temperatura pasaba en tal caso de 100 grados. Se conoció al fin que era preciso enfriar, no solo las superficies metálicas en contacto con el aire caliente, sino tambien el aire mismo; y admira, de cierto, cómo no se empezó por aquí.

El aire, saturado de humedad, no desarrolla, ni con mucho, el calor termométrico que origina el aire seco. A 7 ½ atmósferas produce la compresion,

(1) A Colladon, profesor en Ginebra, hoy ingeniero y consejero de la Compañía del túnel San Gotardo, se debe el invento de la circulacion del agua fria por dentro del vástago y su piston.

como hemos visto, una temperatura de más de 250 grados cuando el aire no contiene ningun vapor de agua; pero, si el aire está constantemente saturado durante todo el tiempo de la condensacion, se llegará á la misma tension de 7 ½ atmósferas, sin que la temperatura pase de 90°.

Para mantener, pues, saturado de humedad el aire que se habia de comprimir, se empezó colocando una delgada tonga de agua sobre el piston, el cual estaba fijo (1), siendo el cilindro el órgano que, subiendo y bajando, aspiraba aire y luego lo comprimia.

Otras veces eran los pistones los que subian y bajaban en posicion horizontal, estando los cilindros colocados sobre ellos verticalmente.

Para reemplazar el agua arrastrada por el aire en forma de humedad, todos estos aparatos estaban provistos de pequeños órganos que reponian el líquido, á medida que el aire se lo llevaba consigo á su salida.

Con tan ingeniosa disposicion, no solo se conservaba saturado de humedad el aire, sino que además el líquido lubricaba el trayecto del piston; y, bañando á cada viaje las paredes del cilindro, las enfriaba justamente por la cara calentada durante la compresion. Por otra parte, la hermeticidad de los pistones resultó más eficaz; y, calculan-

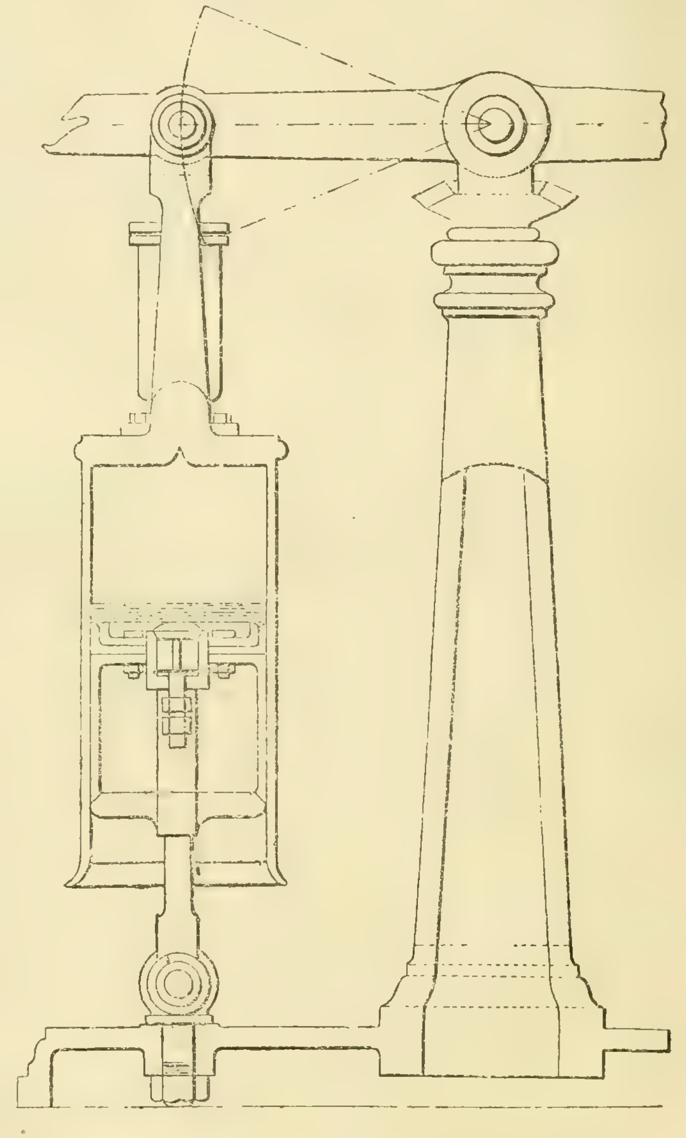


Fig. 59.

(1) Mr. Julienne aplicó el piston de agua á comprimir el aire en 1856 (?).

do bien la cantidad del líquido, resultaban anulados los espacios perjudiciales de las garitas de las válvulas, por haber de entrar el agua en ellos desalojando todo el gas que pudiera allí quedarse rezagado (1).

Por este camino se llegó á una disposicion bastante original: la de hacer entrar el agua en el compresor por entre el piston y la pared cilíndrica. Al efecto, habia alrededor del piston una ranura llena de agujeros, en comunicacion con el interior, hueco, del piston mismo, á donde llegaba el agua á gran presion por dentro del vástago. El agua, así, servia de lubricante y producia un enfriamiento enérgico. El exceso de agua pasaba con el aire comprimido á un pequeño recipiente, donde ambos flúidos se separaban. Allí habia un flotador que, cuando el agua llegaba á cierta altura, tomaba naturalmente un movimiento ascensional, y abria una llave por la cual se escapaba el líquido excedente. Bajando entonces el flotador, se cerraba la llave.

De aquí se pasó á los compresores de piston hidráulico, que no son más que la exageracion de los pistones horizontales, ó casi, cubiertos de una delgada tonga de agua (2).

Una máquina cualquiera, como motor primario, da á un piston inmergido en agua (indicada en la figura por las rayas horizontales) un movimiento rectilíneo alternativo: el agua sube y baja, alternativamente tambien, en cada uno de los cilindros verticales: cuando baja aspira aire, tomándolo á la atmósfera: cuando sube lo comprime primeramente, y despues lo expele de su respectiva columna vertical.

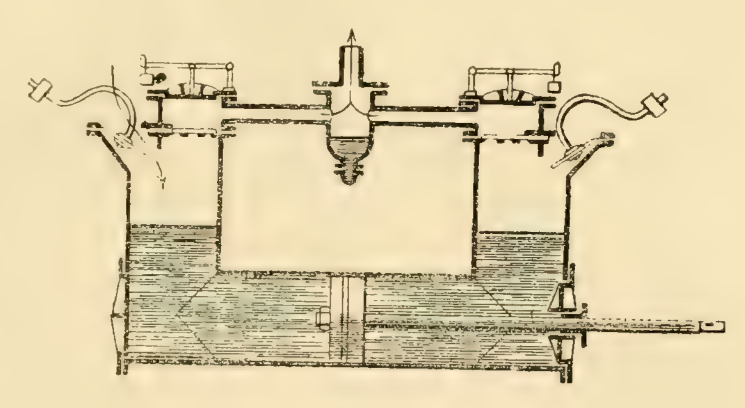


Fig. 60.

Y si la cantidad de agua está bien calculada, los espacios perjudiciales quedan anulados por completo. Con estos aparatos la hermeticidad es segura, insignificantes las reparaciones, la lubricacion perfecta: solo hay que temer la exis-

(1) Tambien se debe á TRIGER la idea de colocar una tonga de agua sobre el piston para asegurar la hermeticidad.

(2) La invencion de estos pistones se debe á TAYLOR, inglés, 1825. DANIEL COLLADON, el célebre profesor ginebrino é ingeniero del túnel San Gotardo, los propuso en 1852. SOMMEILLER, piamontés, los empleó en el gran túnel del Monte Cenis.

tencia de ténues arenas en las aguas; porque, de existir, se destruye el torneado del piston, y el ajuste irreprochable de las válvulas.

Este sistema Sommeiller recibió una modificacion importante, indicada en la figura siguiente (1).

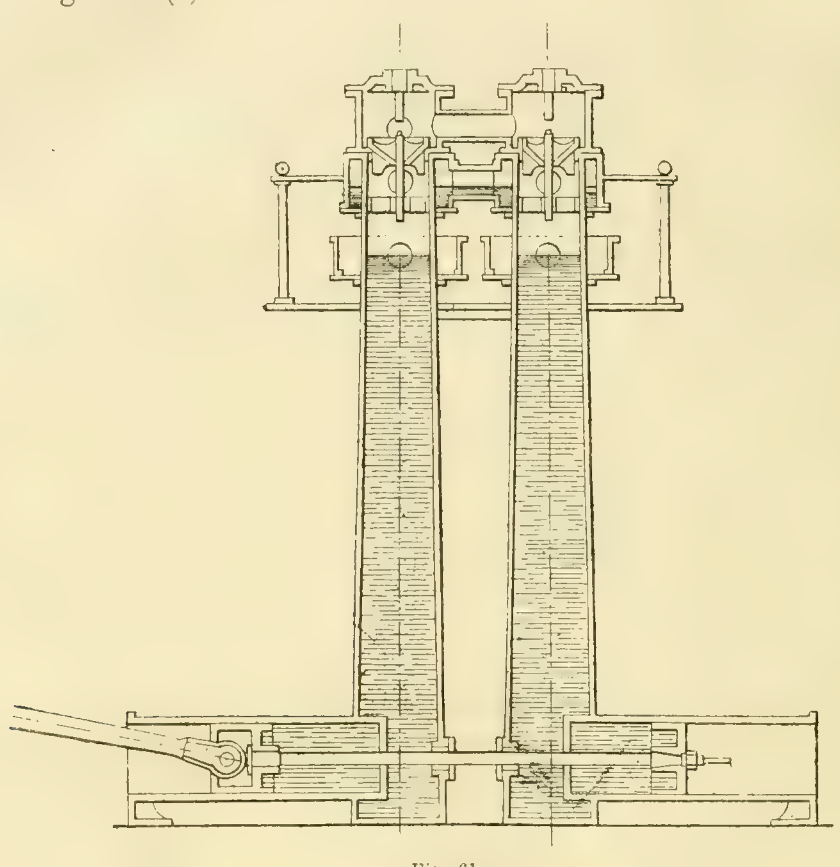


Fig. 61.

El inmenso túnel del Mont-Cenis se llevó á término con compresores Sommeiller, los cuales realizaron la mayor transmision de fuerza á distancia, que hasta ahora se conoce: 6000 metros. Sin duda será superadá esa transmision en el San Gotardo; y ambas quedarian muy atrás, si se ejecutase el túnel proyectado entre Francia é Inglaterra.

Pero los compresores Sommeiller han suministrado prácticamente el resultado más decisivo.

En estos compresores, la temperatura final no excede de 40°, aun llevando á 7 atmósferas la condensacion del aire.

---

(1) Parece haberse descubierto en estos últimos tiempos, que el piston de agua tiene el inconveniente de disolver una cierta cantidad de aire, el cual se desprende acto contínuo desde el momento de la aspiracion, y disminuye, por consiguiente, el volúmen del aire introducido. Conviene, pues, usar como compresores, líquidos que no disuelvan con facilidad el aire.

Pero contra estos Sommeiller se han hecho dos objeciones:

Su gran volúmen, que requiere vastos edificios;

Su imposibilidad de marchar á grandes velocidades.

En efecto, la masa de agua llegó á tener en el Cenis 2800 kilógramos: ya cuando no se comprimia el aire con suma lentitud, esta masa líquida adquiria un movimiento considerable, independiente del movimiento del piston, y, para destruir su fuerza viva, era preciso gastar una cantidad no despreciable de potencia del motor primario.

Por último, aunque el enfriamiento era suficiente á saturar de humedad el aire, y á enfriar las superficies cilíndricas de las columnas verticales, las garitas de las válvulas, y las válvulas mismas, sin embargo, el interior de la masa de aire no se ponia en inmediato contacto con el agua.

Dejando siempre algo que desear los ensayos sometidos á experiencia, se pensó en frigorizar el aire, introduciendo el agua en los compresores reducida á gotas menudísimas, proyectadas con fuerza suficiente á atravesar en todas direcciones la masa misma del aire, multiplicando así extensamente las superficies de contacto de los dos fluidos, aire y agua (1). Esta inyeccion del líquido en gotas era auxiliada en su accion refrigerante por una abundante circulacion de agua, exteriormente al cilindro compresor. Los dos medios, combinados simultáneamente, proporcionaron aparatos que marchaban en buenas condiciones.

Todavía esto no bastaba; y, por último, en Airolo (entrada Sur del túnel San Gotardo) se instalaron los aparatos más eficaces de frigorizacion hasta ahora conocidos. En ellos son enfriadas por medio de una activa circulacion de agua fria, no solo las superficies cilíndricas, los fondos, las garitas de las válvulas, el piston y su vástago (2), sino tambien la masa misma del aire, por medio de una potente inyeccion, no ya de gotas, sino de agua en un perfecto estado de pulverizacion; por manera que, siendo infinitos los puntos de contacto del líquido con el aire, roba el líquido al aire todo el calor (ó casi) que la compresion desarrolla.

El simultáneo concurso de todos estos medios es de una eficacia completa, y el único que da el máximum de efecto correspondiente al agua refrigerante. El aire entra generalmente de la atmósfera á la temperatura de 20° centígrados, y sale del compresor á la de 30° con la considerable tension de 6 atmósferas.

El agua en polvo es inyectada en los cilindros compresores desde los fondos

(1) La proyeccion, en gotas, del agua refrigerante, se debe á Maréchal, jefe de servicio de la maquinaria en el puente de Kehl, 1860; y al famoso Colladon la pulverizacion del agua.

(2) Este último detalle de la frigorizacion se ha suprimido por innecesario.

hácia el piston. El pulverizador es un aparato por extremo sencillo. La figura al lado lo representa en tamaño natural. Empujada el agua por la bomba que produce la circulacion, debe salir del pulverizador formando dos chorros del calibre de $^1/_2$ milímetro, los cuales, encontrándose bajo un ángulo casi recto, se reducen á polvo con su choque mútuo. Acaso haya quien juzgue necesarias grandes masas de líquido en polvo para absorber tanto calor como la compresion desarrolla; pero el cálculo y la práctica demuestran que, con poco más de 2 litros de agua pulverizada, pueden ser enfriados, sin necesidad de circulacion exterior, 1000 litros de aire tomados de la atmósfera á la temperatura comun de 20°, y condensados en los compresores hasta la presion de 7 ú 8 atmósferas, sin que su temperatura final exceda de 40°.

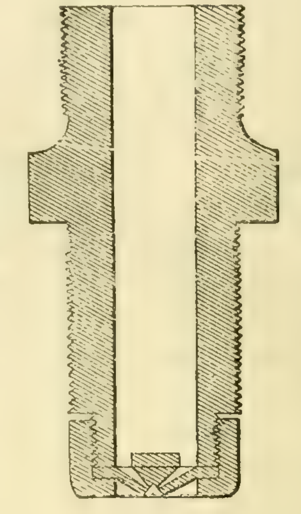




Fig. 62.

En Airolo y en Ginebra se han practicado numerosos experimentos, de los cuales auténticamente resulta que cuando, además de la inyeccion del agua pulverizada, hay enfriamiento de las paredes cilíndricas del compresor, de sus fondos, y del piston y su vástago, basta inyectar el agua á 4°, ó á 5, más fria que la temperatura ambiente, en solo una masa igual á $\frac{1}{1000}$, ó todo lo ménos $\frac{1}{1200}$ del volúmen de aire aspirado á la atmósfera para conseguir que el gas, aun despues de comprimido hasta la tension de 8 atmósferas, no salga de los compresores sino con una temperatura superior únicamente en 12°, ó en 15 todo lo más, á la del aire exterior en el instante del experimento.

La cantidad de agua pulverizada que debe penetrar en el cilindro se regula experimentalmente por medio de llaves á propósito. Por una parte, es conveniente reducir á un mínimum la cantidad del agua inyectada, porque el aire húmedo á fuerte tension produce molestas oxidaciones, tanto mayores cuanto mayor es la cantidad de líquido inyectada; y, por otra parte, es óbvio que no puede haber perjuicio en introducir un ligero exceso de agua, siempre que ese exceso no sea de mucho mas volúmen que la capacidad de los espacios perjudiciales; porque, si lo fuese, habria que expulsar la diferencia á cada viaje del piston, gastando inútilmente una fraccion de la fuerza motriz, á más de disminuir sin razon alguna, el volúmen útil del compresor, y, por consiguiente, su eficacia.

Reducir la temperatura exteriorizada es lo mismo que aumentar el efecto útil del motor primario, en el mismo sentido que anular roces es acrecentar potencia; y, con efecto, el rendimiento de los Sommeiller y de los Colladon

puede llegar, en apropiadas condiciones de marcha y de presion, á un rendimiento igual á 95 °/₀, y no bajar del 80 en otras ménos favorables.

Pero los compresores Colladon, á diferencia de los Sommeiller, son susceptibles de cambios en la velocidad, sin reduccion notable del rendimiento; y ya se sabe cuán conveniente, y á veces indispensable, es esta aptitud, para satisfacer (en repentinas y urgentes circunstancias) todas las exigencias de una importante explotacion.

Resulta, pues, que la Industria posee actualmente medios de segura eficacia para anular, casi por completo, el calor desastroso que se exterioriza durante la compresion del aire; y que los compresores más perfectos conocidos hasta el dia son los Colladon, es decir, los condensadores

1.° De accion directa del piston sobre el aire,

2.° Y de frigorizacion contínua, por medio del agua á la temperatura ambiente, no solo de todas las superficies metálicas, mediante una activa circulacion del líquido, sino tambien de la masa entera del gas, mediante una inyeccion violenta de agua en estado de extrema division.

## IX.

Las canalizaciones de gran longitud absorben fuerza; pero en escasa cantidad. Para una tubería de 6000 metros y á la presion de 7 atmósferas, la pérdida por causa de la canalizacion, *nunca* llega al 5 por 100.

## X.

Pero si en la canalizacion se pierde tan poco; si los compresores perfeccionados logran aprovechar hasta el 95 °/₀ en convenientes condiciones; si las resistencias pasivas pueden reducirse mucho, ¿cómo es tan escaso el rendimiento de las transmisiones de fuerza efectuadas por el aire comprimido? ¿Por qué el rendimiento desciende con frecuencia al 20 °/₀? (1)

Porque los aero-motores marchan á presion plena; ó, lo que es lo mismo, dejan de aprovechar toda la fuerza que pudiera aún desarrollar el aire comprimido, si se utilizara toda su fuerza de expansion.

Y esta marcha á presion plena entraña una doble série de graves inconvenientes.

---

(1) Y, sin embargo, como las cuerdas y los cables de arrastre en algunas minas hacen perder hasta el 75 °/₀ de la fuerza motriz, puede resultar económica todavía y hasta muy beneficiosa la transmision de fuerza por el aire comprimido, aun usando los más perversos aero-motores.

## XI.

A consecuencia del modo de funcionar que actualmente tienen las máquinas movidas por aire préviamente comprimido, se produce un frio tan intenso, cuando se quiere utilizar la expansion, que se hiela el vapor de agua existente en el aire comprimido, el hielo obstruye los conductos de salida, las grasas lubricadoras se solidifican, y el aero-motor deja de funcionar (1).

Sábese que todo cuerpo, cuando se dilata, se enfria; y, si no recibe calor ninguno del exterior, se verifica el aumento de volúmen á expensas del calor almacenado en la masa misma del cuerpo que se dilata. Y será tanto mayor el enfriamiento cuanto más brusca sea la dilatacion, puesto que no dejará tiempo á los cuerpos circunstantes para restituir á la masa de las moléculas dilatadas el calor en cuya virtud se verificó el trabajo mecánico de la expansion.

Exceptuando el motor Mékarski, de que luego se hablará, y sus análogos, los aero-motores actualmente en uso son cilindros semejantes á los de las máquinas de vapor. El aire comprimido que los alimenta está regularmente á 20° (temperatura de los túneles y las minas), y se halla saturado de vapor de agua, por lo mismo que, para aminorar el calor de la compresion, se ha inyectado en el condensador agua en polvo, ó se ha recurrido á ese líquido refrigerante por algun otro medio ménos eficaz, pero siempre suficiente á la saturacion.

Si, pues, el almacen del aire condensado á elevada presion, enviase el gas al cilindro del aero-motor durante el tiempo justamente necesario para que el piston realizase la mitad de su viaje; y entonces, cuando el piston estuviese en la mitad del cilindro, se interceptase bruscamente la comunicacion con el almacen, es claro que el piston seguiria su marcha en virtud de la expansion del aire; pero semejante expansion, verificada á expensas del calor existente en la masa gaseosa, haria descender repentinamente la temperatura desde 27° sobre cero, á 50° bajo cero; y claro es que, aumentando todavía el descenso con la brusca salida á la atmósfera, despues de la expansion en el cilindro, el vapor de agua contenido en el aire se congelaria; y, como hemos anunciado, las grasas se harian sólidas, los orificios se obstruirian, y el aero-motor se pararia. A $^4/_5$ de expansion, la temperatura descenderia á 120° bajo cero. Y, mientras

---

(1) Sin embargo, no todos los aero-motores pierden tanto.

En Ryhope Colliery, Durham, una máquina de 78 caballos útiles, despues de deducidos rozamientos, comprime aire que á 1500$^m$ devuelve en lo profundo de la mina 50 caballos (ó sea el 65 %). *Mining Journal.*

Los compresores construidos en Delamater Works, y usados en The Second Avenue Railroad, de Nueva-York, utilizan 50 caballos-vapor en aire comprimido por cada 100 en vapor invertidos en la máquina que mueve los compresores. (Informe del general Haupt.)

más alta sea la tension del aire comprimido, mayor será el descenso de la temperatura, y más rápida y abundante la formacion del hielo, por ser más brusca ó más exagerada la expansion.

Así, pues, en los aero-motores, á pesar de haberse adoptado disposiciones de precaucion en los orificios de salida para evitar los inconvenientes de la congelacion, se ha renunciado á utilizar la gran potencia de la expansion del aire; ó, de otro modo, en todas partes se trabaja á presion plena, ó con una expansion insignificante (1).

Pero marchar á presion plena es reducir inmensamente los rendimientos del aire comprimido.

Y aquí entra la segunda série de inconvenientes anunciada.

## XII.

Séame lícito anticipar ideas que en otros libros hallarán plena y evidente confirmacion; que, anticipándolas, me será fácil hacer comprender el por qué la presion plena aminora de tal modo el rendimiento.

Supongamos que en un cilindro queremos condensar aire á 8 atmósferas. Empieza el piston á bajar; y, desde este momento, comienza una série de esfuerzos, cada vez más considerables, para ir realizando la compresion; pues el aire, como todo resorte, resiste más y más, á medida que se lleva más adelante la tension.

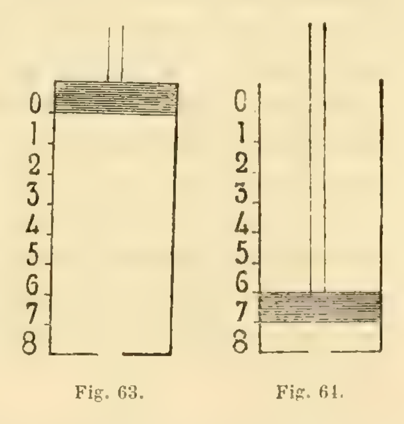


Fig. 63. Fig. 64.

Son, por tanto, crecientes los esfuerzos necesarios para ir haciendo bajar el piston, por ser cada vez mayores las resistencias. Y esta progresion ascendente no cesa durante los $^7/_8$ del viaje del piston, esto es, hasta que ha llegado á la posicion indicada en la 2.ª figura; que, entonces, cuando el aire queda reducido á la octava parte del volúmen primitivo, es su tension igual á 8 atmósferas.

(1) Por causa del hielo, los orificios de salida en los aero-motores se colocan verticalmente, á fin de que el aire lo desprenda con facilidad.

Unos ingenieros quieren lentitud y poca presion, lo más de 3 atmósferas; otros gran velocidad y muy alta presion: esto es lo que llama Johnson, de Bristol, *the battle of pressures*.

Donde el espacio es circunscrito, enorme velocidad y alta presion son muy recomendables, aun con el actual oneroso sistema del trabajo á presion plena.

Para evitar los inconvenientes de la formacion del hielo, los constructores en Delamater Works, Nueva-York, hacen trabajar á sus aero-motores con aire casi seco. Se creerá tal vez muy onerosa y complicada la operacion de secar el aire. Nada más fácil, sin embargo. Como se sabe, el aire atmosférico está siem-

Y, como no queremos ya aumentar más la presion, cesa la progresion de esfuerzos CRECIENTES: ponemos entonces en comunicacion el cilindro con el almacen del aire, y, con una fuerza CONSTANTE, expulsamos del cilindro el aire comprimido ya á 8 atmósferas, y lo hacemos entrar todo en el depósito.

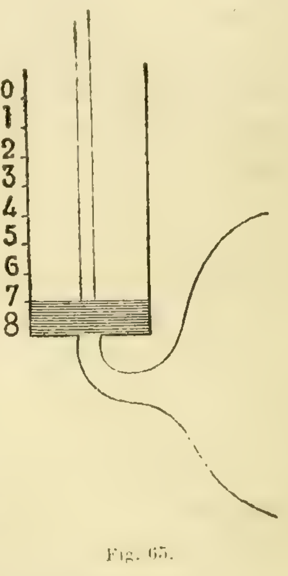


Fig. 65.

El trabajo ha constado, pues, de 2 períodos: uno de esfuerzos crecientes, y otro de esfuerzo constante.

Ahora bien: trabajar á presion plena es no utilizar la suma de los esfuerzos crecientes, y únicamente aprovechar el trabajo de esfuerzo constante.

Trabajar por expansion, sería hacer que el aeromotor devolviese el trabajo total invertido en los 2 períodos.

Y, como hay que trabajar más para tener el aire en disposicion de almacenarlo á 8 atmósferas, que para ponerlo en disposicion de almacenarlo á 4 atmósferas; y más se gasta de esfuerzos CRECIENTES para darle esa tension de 4, que para solo condensarlo á la de 2.....; ó, de un modo general, como la suma de los esfuerzos CRECIENTES para condensar el aire á la tension de muchas atmósferas, es considerablemente mayor que la suma de los esfuerzos crecientes necesarios para comprimir el aire á baja presion, de aquí el que en todas partes se haya renunciado, no solo á la expansion, sino á trabajar á presiones elevadas, pues mientras más percondensa el compresor, ménos restituye el aero-motor que funciona á presion plena.

Sólo en aquellos casos en que es cuestion secundaria el rendimiento—por no haber mejor ni más barato medio de transmision de la potencia motriz (como en las perforadoras de los túneles)—ó bien cuando es absolutamente necesaria una gran provision de aire en poco espacio (como en las escafandras de los bu-

---

pre más ó ménos cargado de humedad, la cual se hace visible en forma de rocío, depositándose en las superficies frias cuando la temperatura baja convenientemente. Los compresores de Delamater Works condensan primeramente el aire á 5 atmósferas; y, antes de entrar en el almacen correspondiente, pasa el aire con esa densidad, á través de agua fria, donde pierde su calor y parte de su humedad. Frio ya y algo seco, este aire á 5 atmósferas es recondensado hasta 25 atmósferas, atravesando tambien agua fria antes de almacenarse en su correspondiente depósito. Por este procedimiento, de 25 partes de humedad que contenga el aire de la atmósfera, 24 quedan absorbidas por el agua refrigerante; de manera que el aire á 25 atmósferas solo contiene 1 parte de humedad. Naturalmente, este aire, seco casi, no obstruye con hielo los orificios de la salida de la máquina aeromotora, por no contener humedad bastante para su formacion. Solamente la intensidad del frio del aire dilatado hiela la humedad del aire de la atmósfera en los extremos de los tubos de salida distantes del aero-motor. Pero la fuerza con que allí sale el aire no impide el funcionamiento del aero-motor, porque el aire, huracanado casi al salir, arrastra el hielo que, sin esa velocidad, se adheriria á los orificios de salida.

zos)..... entonces, y solo entonces, funcionan las máquinas de aire á una presion superior á 2 atmósferas, ó 3 (1).

Pero se dirá: por marchar á presion plena, tan á costa del rendimiento, no dejará de enfriarse el aire cuando desde el aero-motor se escape á la atmósfera. Cierto: el enfriamiento es el mismo; pero con la enorme velocidad del aire á su salida del cilindro, arrastra consigo los cristales de hielo que, si no, se depositarian en los orificios, á los cuales restituyen un tanto del calor, robado por la expansion, los considerables rozamientos de las moléculas gaseosas, atropellándose por salir.

Se ve, pues, que solo para barrer las partículas de hielo, se desperdicia una considerable parte en el aero-motor del trabajo invertido en los compresores. ¡Caro cuesta ciertamente conservar despejados los conductos de salida!!

¿Podrá ya causar extrañeza que, trabajando solo á la presion de 3 á 4 atmósferas, no pueda contarse con un rendimiento superior á 25 %; y que solo cuando el aero-motor funciona á 2 atmósferas, se obtenga próximamente el 45 %? ¿Y esto en circunstancias muy favorables? En general, el aire comprimido no permite utilizar, segun las presiones usuales en la Industria, más que del 20 al 40 % del trabajo gastado en comprimirlo. Solo en excelentes aparatos se llega al 50 %.

## XIII.

Dejando, pues, á un lado los rozamientos y las demás resistencias pasivas
Del motor primario,
Del compresor,
De la canalizacion,
Y del aero-motor mismo,
existen, por causa solamente de los cambios de temperatura, dos clases considerables de pérdidas:

---

(1) En Inglaterra es opinion general que no deben marchar los aero-motores con una presion plena superior á 4 atmósferas. En Bélgica á 3. Segun el *Mining Journal*, resulta de experimentos, como término medio de la práctica actual:

| | |
|---|---|
| A 40 libras inglesas sobre pulgada inglesa cuadrada | 25,8 p % |
| A 34 | 27,1 |
| A 28 ½ | 28,5 |
| A 24 | 34,9 |
| A 19 | 45,8 |

Como se sabe, 15 libras sobre pulgada inglesa son una atmósfera. Mas adelante volveremos á esto mismo.

La empresa residente en París del gas portátil para el alumbrado, distribuye el gas á la presion de 11 atmósferas para gastarlo á casi ninguna sobre la de la atmósfera. En el camino de hierro de la alta Italia y del Monte Cenis, entran en los coches de viajeros los depósitos de gas del alumbrado á 12 atmósferas. En las locomotoras de aire comprimido de San Gotardo, se hace la provision á 14 y se gasta á 6. El exceso de presion no se aprovecha: lo mismo en las escafandras.

Una en el compresor, por el calor;

Otra en el aero-motor, por el frio.

Estos seis géneros de pérdidas se suman, y amenguan enormemente el rendimiento que debia esperarse de la potencia invertida por el motor primario.

El genio de gloriosos inventores ha logrado anular casi, mediante la refrigeracion de los metales y la frigorizacion enérgica del aire comprimido, las pérdidas que el calor exteriorizado origina en los compresores.

Pero hasta ahora, lamentablemente, están por anular las que en los aero-motores produce el enfriamiento, consecuencia natural de la expansion.

Y, sin embargo, parece tan fácil aumentar el rendimiento mediante la pulverizacion, ¡no ensayada aún en los aero-motores!

# CAPÍTULO III.

## CUESTION ECONÓMICA.

I.

El aire comprimido lucha con otros motores sin desventaja; y, en cuanto se utiliza alguna cosa su expansion, vence, no solo á los motores de sangre, sino hasta al vapor mismo, aun en muchos casos en que el aire es racionalmente reemplazable, por no haber de ejercer su accion en trabajos subterráneos, ni submarinos, ni en atmósferas viciadas ó deletéreas, donde su empleo es ineludible.

Veamos algunos cómputos.

*Comparacion del costo del vapor con el trabajo de un hombre: cálculo de* Devillez (1).

| | | |
|---|---|---|
| Instalacion de una máquina de 20 caballos ... | 60000 pesetas. | |
| Interés y amortizacion 6000 al año. | | |
| Por dia en año de 300 dias útiles............ | | 20 pesetas. |
| 2 maquinistas.................... 6,50 | | |
| 1 fogonero.... ................. 2,50 | ............ | 34 |
| Carbon, grasas, etc................ 25 | | |
| Cuesta pues, un trabajo equivalente á 200 hombres organizados en buenas condiciones.................................... | | 54 pesetas. |
| Jornal de un hombre-dinámico, suponiéndole trabajando 12 horas contínuas $\frac{54}{200}$ ........................ | | 27 cénts. |
| Si la máquina trabajase 24 horas, su trabajo diario costaria.... | | 88 pesetas. |
| Jornal del hombre-dinámico $\frac{88}{400}$ ......... ............... | | 22 cénts. |
| Jornal real del hombre....................................... | | $X > 22$ cénts. |

(1) *Des travaux du percement du tunel sous les Alpes;* Liège.

*Comparacion del costo de vapor convertido en aire comprimido, con el de un caballo de tranvía en París: cálculo de* Mékarski (1).

Los caballos de tranvía caminan hasta 22 kilómetros por dia. Pero hay que computar solo 20 kilómetros, si se ha de llevar en cuenta la deduccion necesaria por causa de enfermedades, refuerzos para las grandes rampas y reserva. Cada caballo de tranvía cuesta 3 francos en París:

2 para cada coche 6 francos.

Cada kilómetro corrido cuesta, pues, $\frac{6}{20}$ ................. 0,30 pts.

Suponiendo comprimido el aire por una máquina fija, no de las mejores, sino de las que consumen $1^k,5$ carbon por hora y caballo dinámico, y que una máquina de aire comprimido para tranvía ejerza un esfuerzo de $7\,^1/_2$ caballos, gastando 1 metro cúbico de aire á 25 atmósferas para un trayecto horizontal de 5 kilómetros, resultará $\frac{7,50 \times 1,50}{5} = 2^k,25$,

que á 25 francos la tonelada............................. 0,08

Economía del vapor convertido en aire comprimido respecto del caballo de tranvía................................. 0,22

*Cálculo de Pochet* (2).

Se supone

Que la máquina motriz es de las perfectas modernas, que consumen 1 kilógramo por hora y caballo;

Que los compresores utilizan solo el 75% de este carbon;

Que el aire comprimido se distribuye á domicilio por una canalizacion que absorba el 5 % (en el Monte Cenis nunca llegó á tanto, con 6000 metros de canalizacion);

Que los aero-motores utilizarian el 60% de la potencia almacenada en el aire si trabajasen con expansion, pero que, trabajando á presion plena, no aprovecharán sino la mitad;

(1) Acta de la Sociedad de ingenieros civiles. Sesion de 3 marzo 1876.

(2) *Nouvelle mécanique industrielle.*

Y tendremos

$$(1^k \times 0,75) \times 0,95 \times (0,60 \times 0,5) = \ldots\ldots\ldots \quad 0^k,214$$

El consumo de hulla, servida á domicilio en aire comprimido, utilizado sin expansion, sería, por cada kilógramo en la caldera motriz $= \frac{1}{0,214} = \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad 4^k,67$

Pocas máquinas de la pequeña industria consumen ménos combustible, y el gasto resultará especialmente más considerable si usan coke, y siempre quedan á favor del aire comprimido las ventajas de ventilacion, aseo, carencia de peligro por explosiones, incendios, etc. (1)

Sin aprovechar en nada la expansion, puede, pues, luchar el aire comprimido con la máquina de vapor de las industrias urbanas.

## II.

Podrá objetarse que no es justo hacer la comparacion con los tipos más bajso de los mecanismos de vapor; pero ¿en la pequeña industria existen otros generalmente admitidos?

Y hay muchas razones para que hasta ahora no hayan existido. Estos motores tienen que ser sencillos y fuertes, transportables, de reducido peso, han de ocupar poco espacio, se hallan mal protegidos contra la irradiacion; trabajan sin condensadores; hay que confiarlos á maquinistas ó á fogoneros, que no son, por regla general, ni lo uno ni lo otro; los repara, cuando se descomponen, el primero que puede hacerlo......, etc. De aquí el que solo aparatos muy inferiores funcionen en la industria esencialmente urbana, no obstante el que ya desde 1853 existia la locomóvil Clayton, con cilindro dentro de la caja de vapor, y que no consume, segun demostró el concurso de Gloucester, más que $1^k,95$; y sin embargo de que en el concurso de Cardiff de 1872, otra Clayton no consumiera más que $1^k,305$. En este concurso el término medio de otras 7 locomóviles fué de $1^k,97$ (2).

Pero supongamos que las pequeñas máquinas de vapor hubiesen ya llegado (como llegarán) á reducir la altura de los pistones y los tamaños de las cajas estoperas y de las partes frotantes todas (más extensas en ellas relativamente que en los grandes tipos Corliss, Farcot, Compound); supongamos tambien que

(1) En América es comun encontrar grandes calderas fijas, que evaporan 9 libras inglesas de agua á 25 libras de presion por libra de hulla, mientras que lo general en las pequeñas calderas es un consumo de 1 libra de carbon por 4 de agua evaporada á igual presion. (General HAUPT.)

(2) El Handbuch für specielle Eisenbahn-Construction da $2^k,3$ á $2^k,4$ como consumo corriente.

en esos pequeños aparatos la expansion sea la mayor posible ($^9/_{10}$), y la contrapresion en el condensador la mínima prácticamente ($^1/_8$ de atmósfera), y entonces, cuando hubieran descendido á las aplicaciones prácticas de la industria casera estos notables adelantos—hoy anhelados desideratos—entonces y solo entonces, fuera injusto hacer la comparacion como ahora se plantea; pero para entonces ¿no habrá logrado la industria del aire comprimido mejoras paralelas con las de vapor?

## III.

La locomocion por aire comprimido lucha en los tranvías con la locomocion por vapor. La argumentacion general contra el uso del aire comprimido parece irrefutable, y, sin embargo, es solo especiosa.

Los mejores mecanismos de aire comprimido utilizan, término medio, el 50 °/₀ de la fuerza de vapor que los hace funcionar; luego se gastará doble combustible empleando aire comprimido donde quiera que pueda aplicarse el vapor directamente. El raciocinio, en general, es fundado; pero hay en esto, como en casi todos los argumentos absolutos, mucho que distinguir.

Las grandes economías de combustible solo se obtienen en las máquinas de vapor provistas de condensador y susceptibles de aprovechar en gran escala la expansion. Ahora bien: máquinas de condensacion y de gran expansion no pueden hoy por hoy colocarse sobre ruedas; por manera que las locomotoras tienen que gastar, y gastan, muchísimo carbon comparadas con las máquinas fijas de condensacion y expansion exagerada. Las máquinas fijas Corliss, Farcot, etc. (1), gastan 1 kilógramo de hulla por hora y por caballo: si su fuerza se emplea en comprimir aire, y si éste devuelve en el aero-motor se-moviente sobre un tranvía el 50 °/₀, por ejemplo, cada caballo de aire comprimido costará 2 kilógramos de hulla.

Ahora bien: una locomotora de vapor para tranvía (por su relativa imperfeccion respecto de las fijas de Farcot, etc.), no puede ménos que gastar 4 kilógramos de hulla, por lo cual la traccion del aero-motor se-moviente por las calles, cuesta la mitad que la traccion por medio de una locomotora de tranvía.

Y hay más aún.

---

To produce 1 horse power in a steam engine involves a consumption of coal varying from 2,5 lb. in the most perfect and expensive engines known, to 8 and even 10 lb. in common engines. Let us take 4 lb. as a very fair engine's work. (*Sc. Am. Suppl.*, pag. 3049.)

(1) Como se sabe, la máquina Bède y Farcot es una máquina del tipo americano Corliss, pero ha sido modificada de una manera esencial, tanto por Bède, ex-catedrático de mecánica en Lieja, como por Farcot, de Saint-Ouen (cerca de París). Farcot ha llegado á resultados increibles hace algunos años: una máquina con cilindro de $1^m$ de diámetro y $1^m$,8 de curso del piston, comprada por la ciudad de París para elevar con bombas las aguas de los canales destinadas al riego, fué probada oficialmente con la fuerza de 400 caballos durante 2 meses, y dió un promedio de gasto de carbon de 815 gramos por hora y por caballo, por lo cual el ayuntamiento encargó otras dos máquinas más, etc. (*Porvenir de la Industria*, 14 mayo 1875.)

Si calentando el aire, ó por otro medio, puede utilizarse la expansion del aire comprimido hasta doblar su potencia, claro es que entonces, la traccion por el aire comprimido costará sobre un tranvía la cuarta parte que la de vapor por las locomóviles comunes. Mallet, de París, ha hecho locomotoras del tipo Compound que solo gastan $2^k$ por hora y caballo.

Veamos los resultados de la práctica.

A fin de aprovechar en el cilindro de un aero-motor la expansion del aire préviamente comprimido y almacenado en un depósito conveniente, se han propuesto multitud de medios, algunos evidentemente inaplicables, como, por ejemplo, la produccion de calor, rodeando el cilindro con cal viva y apagándola en agua.

Ya veremos que la pulverizacion del agua puede ser un medio eficacísimo; y, sin embargo, no empleado todavía.

Por ahora discutiremos el propuesto por Mékarski para sus coches automóviles, que empezaron á funcionar en París entre el Arco de Triunfo y el Puente de Neuilly (1).

A la cabeza del tranvía, una máquina fija comprime aire atmosférico á 30 atmósferas, y del almacen, antes de empezar el viaje de cada coche, se llenan con el aire comprimido á esta densidad los 10 recipientes *RR*..... de $1/2$ metro de diámetro, de palastro de acero, probados á 35 atmósferas, que van bajo la plataforma ó el piso del coche, y que en junto contienen 2800 litros de aire, cuyo peso es de $100^k$.

De una caldera fija, donde la temperatura llega á 160° C., sale al mismo tiempo vapor en cantidad suficiente para calentar á igual temperatura 120 litros de agua contenida en el cilindro ver-

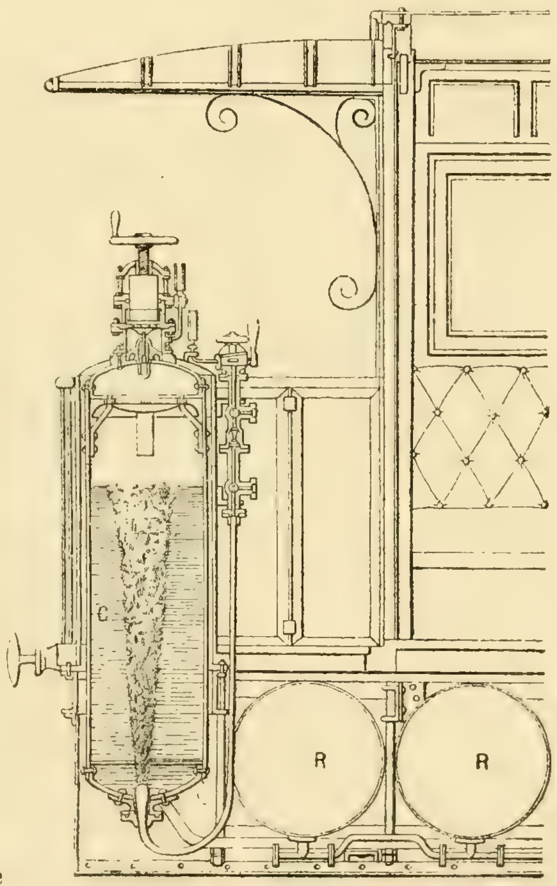


Fig. 66.

(1) Mr. Andraud fué el primero que en 1850 experimentó en el camino de hierro de Versalles una locomotora de aire comprimido.

tical, ó calefactor *C*. Y, hecha así provision de aire comprimido en *R R*... bajo el coche, y de calor en *C* sobre la plataforma, se efectúa el viaje en virtud de la fuerza acumulada en el aire y doblada por el calor del agua del calefactor. El gas comprimido sale de los recipientes, atraviesa el agua hirviendo, se satura y carga de vapor de agua, y esta mezcla de aire y vapor mueve luego las ruedas por medio de pistones y cilindros análogos á los de las locomotoras (1). Como el aire se calienta al atravesar el calefactor, puede utilizarse luego $^2/_3$ de la expansion de este gas en los cilindros. La máquina, segun se ve, es un aeromotor

1.° De aire caliente, saturado de $^1/_5$ á $^1/_6$ de humedad,

Y 2.° De expansion hasta $^2/_5$;

Máquina en la cual se ha suprimido la congelacion del agua y de las grasas, el deterioro de los pistones, y, sobre todo, se ha doblado el rendimiento que el aire comprimido daria, si no se hubiese préviamente calentado (2). Un kilógramo de aire frio y seco produciria en condiciones prácticas sobre 9500 kilográmetros, mientras que, caliente y saturado de humedad, puede producir 19500, trabajando con una expansion que empieza al $^1/_5$ de la carrera del piston. La máquina, con una resistencia de 10 á $12^k$ por tonelada de peso, gasta sobre plano horizontal $8^k$ de aire por kilómetro de marcha; de manera que puede caminar de 10 á 12 kilómetros, segun las inclinaciones de la via (3).

Pues bien: aun en estas condiciones, segun los datos que tengo á la vista, la compresion del aire en los coches Mékarski cuesta 250 gramos de hulla por kilógramo de aire. Por consiguiente, cada kilómetro de marcha sale á 2 kilógramos de carbon. El aire comprimido puede, pues, para la traccion en los tranvias, luchar con las locomotoras sus similares (que usan coke, cuyo precio es superior al de la hulla, combustible quemado en las máquinas fijas compresoras del aire y calefactoras del agua). Y, aun cuando el gasto resultase igual, siempre habria que dar la preferencia al aire comprimido, por la sencillez, la

(1) Rogers, profesor de la Universidad de Pensylvania, Estados-Unidos, propuso en 1874 la introduccion de un poco de aire en el cilindro de las máquinas de vapor á cada viaje del piston, de modo que el efecto útil se obtuviese de la mezcla de ambos gases. Fundábase en que la diferencia de los calores específicos del vapor y del aire es tan considerable, que la fuerza elástica adquirida por el aire es superior á la perdida por el vapor. Mékarski cambia las proporciones, pues con mucho aire mezcla un poco de vapor.

(2) El aparato posee además un regulador de presion, de tal propiedad, que la presion motora sobre los pistones es siempre de 5 atmósferas, aun cuando vaya progresivamente disminuyendo durante el trayecto la presion de los recipientes *RR*... que, á la partida, es de 15 atmósferas y el calor de 150°C., y á la vuelta solo de 5 atmósferas y de 100°, respectivamente.

(3) Sobre barras de tranvía cada tonelada de peso exige un esfuerzo de 10 kilógramos para la traccion cuando están horizontales, y además 20, 30, 40, $50^k$..... para la inclinacion de 1, 2, 3, 4, 5..... centímetros por metro, respectivamente. En los tranvías, la resistencia suele variar de 1 al quíntuplo muy comunmente, y del 1 al séxtuplo, al séptuplo y hasta el óctuplo en casos excepcionales. Por esto se necesita agregar caballos y disminuir la velocidad al ascender fuertes rampas.

seguridad respecto de explosiones, el ningun ruido de la máquina, la ausencia del peligro de incendio por las chispas escapadas del hogar, etc. Y, además, por la supresion del fogonero que acompaña al maquinista en las locomóviles de tranvía movidas por la combustion del coke, y por el menor costo incuestionable de las reparaciones y lubricacion de buenas máquinas fijas en comparacion de las de las pequeñas máquinas semovientes con sus siempre inferiores calderas (1).

Ni aun con el aire comprimido, trabajando á presion plena, parece hacedero que luchen las locomotoras de tranvía, posibles en la actualidad.

El gasto de combustible de una pequeña locomotora de vapor que arrastra un ómnibus en via accidentada, no es fácil que pueda, con las actuales construcciones y tipos comunes, reducirse á 2 kilógramos de carbon por hora y por caballo, por ser este un resultado á que en la práctica solo han llegado las grandes locomotoras del tipo Compound, construidas por Mallet, establecidas en condiciones de regularidad muy favorables á la buena utilizacion del vapor. Las demás locomotoras, que son todas las actualmente en uso, gastan mucho más, más del doble. Supongamos, segun resultados de la práctica corriente, no lo que puede ser, sino lo que es comunmente,

1.° Una máquina fija que produzca 8 kilógramos de vapor por kilógramo de hulla:

A 35 francos tonelada costará el kilógramo de vapor

$$\frac{35}{1000} : 8 = \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 0^{fr},0044$$

Admitiendo aprovechado solamente el 25 % en aire comprimido sin expansion, saldrá el kilógramo á.................... 0 ,0176

Y, suponiendo doblada la utilizacion á causa de la expansion por el empleo de agua caliente, resultará el kilógramo de vapor á. 0 ,0089

2.° Supongamos ahora una locomotora de tranvía que levante 5 kilógramos de vapor por kilógramo de coke: á 50 francos tonelada costará cada kilógramo de vapor

$$\frac{50}{1000} : 5 = \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 0\ ,0100$$

Todavía resulta en favor de la locomocion por aire comprimido, una economía de.................................... 0 ,0011

(1) El resultado será *à fortiori* todavía mejor y más favorable á la traccion por medio del aire comprimido, comparada con la traccion por caballos de sangre, si los compresores del aire fuesen movidos por grandes máquinas de gas que gastasen la reducida can-

Y, aun admitiendo igual en un caso que en otro, el costo de la traccion, siempre inclinarian el fallo á favor del aire comprimido sus otras evidentes ventajas.

Y la diferencia es tanta, que aun suponiendo mejorada la produccion del vapor, todavía la balanza permanecerá en favor del aire.

Supongamos, pues,

1.° Una máquina fija que produzca 9 kilógramos de vapor (1)

$$\frac{35^{fr}}{1000^{k}} : 9 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad 0^{fr},0039$$

2.° Un aero-motor que utilice bien la expansion (más de la mitad, por ejemplo) costará........................ 0 ,0070

3.° Una locomotora de tranvía que levante 6,5 kilóg. de vapor

$$\frac{50^{fr}}{1000^{k}} : 6{,}5 = \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad 0\ ,0076$$

Los coches, pues, de aire comprimido, y luego recalentado para utilizar la expansion, tienen, al parecer, ventaja sobre las locomotoras de vapor para tranvía, por el mal aprovechamiento en éstas del combustible.

---

tidad de combustible que hoy consumen las pequeñas máquinas de gas modernas. Ya hay en uso maquinitas de gas que desarrollan 1 caballo dinámico por 21 piés cúbicos de gas, lo cual representa á lo sumo 726 gramos de carbon. Las mejores máquinas de grandes dimensiones gastan 1000 gramos regularmente; y, en condiciones excepcionales, como las de Farcot ya citadas, 815 gramos. Ordinary engines consume 8 and 10 lb. per hour per horse power and a consumption of 4 lb. would be very good work for any engine employed under general conditions analogous to those for which gas-engines would be used. (*Sc. Am. Suppl.*, pag. 3049.)

La razon de esta economía en las máquinas de gas está en que la energía potencial del combustible se convierte directamente en energía mecánica dentro del cilindro en el acto de la combustion, y solo se pierde lo que en los productos de la combustion sale á la atmósfera (que verdaderamente es muchisimo) mientras que en las máquinas de vapor esta pérdida se verifica en el hogar de la caldera, y á ella hay que agregar la inmensa pérdida de la irradiacion y del vapor no condensado.

1 tonelada inglesa de carbon da 9600 piés ingleses de gas á la densidad de 0,450 (ó sea 331 libras inglesas de gas purificado por tonelada). Se obtienen 1300 libras de coke; y, si se supone que se gaste $^1/_3$ del coke en la produccion del gas (lo que es muy excesivo), resultarán 12 piés cúbicos de gas por cada libra de carbon desaparecida: esto es, que 100 piés cúbicos de gas cuestan 8 libras de carbon. Pero el gas no ha podido utilizarse bien más que en maquinitas de 1 á 4 caballos, por lo menos hasta ahora. Quizá llegue en dia no lejano á obtenerse un consumo de 700 gramos en maquinas de grandes dimensiones movidas por el gas.

(1) Hay calderas que, con excelente combustible y cuidadosa alimentacion del hogar, han levantado más de 11 kilógramos de vapor por kilógramo de carbon: una ha dado $11^{k}$,39.

Pero ¿no podrán vencer cuando el carbon se utilice mejor en las auto-móviles?

Hecha esta pregunta, lícita es tambien la siguiente. Y ¿está ya pronunciada la última palabra respecto al aire comprimido? ¿Se ha demostrado ya que es imposible utilizar en gran escala su expansion? ¿No cabe comprimir el aire más que con carbon? ¿No cabe percondensarlo por motores hidráulicos, cuya fuerza no tenga más costo que el de la instalacion inicial de la maquinaria?

Coches semejantes á los de Mékarski se emplean en Nueva-York en el *Second Avenue Railroad*. En estos coches hay ciertas mejoras de importancia.

1.° Al descender planos muy inclinados, los cilindros funcionan como compresores del aire atmosférico ambiente, y condensan y almacenan en sus depósitos una gran cantidad de fluido, que, en parte, reemplaza el anteriormente consumido por la máquina para llegar á la pendiente. El ahorro es doble: no solo se economiza aire motor en las bajadas de las cuestas, sino que luego se aprovecha en la subsiguiente marcha horizontal ó ascendente todo el aire percondensado en el descenso por la accion de la gravedad, reservándose así la equivalente porcion del almacenado á la partida como provision para el viaje. Solo produciendo carbon en los rápidos descensos por las cuestas, es como una locomotora de vapor para tranvía podria equipararse, bajo este interesantísimo concepto, con las máquinas movidas por el aire comprimido. El aire comprimido así en una rampa de casi 4% durante 1 kilómetro, puede mover la máquina durante 2 sobre plano horizontal, convenientemente recalentado y empleado con expansion.

2.° Puede darse el caso de que la pendiente no sea todo lo inclinada que se necesite para decidir el descenso de la máquina, y que solo exija un impulso insignificante para sostener su marcha. En tal caso, entra en el cilindro é impulsa el piston una diminuta cantidad de aire comprimido y caliente, el cual se dilata, pero nunca hasta el extremo de ser su densidad menor que la atmosférica; pues antes de llegar tal caso (que crearia una especie de vacío, y, por consiguiente, una perjudicialísima contra-presion) se abren automáticamente extensas válvulas, por las cuales entra en el cilindro el aire de la atmósfera, directamente y en la cantidad necesaria á que sobre ambas caras del piston sean las presiones iguales y contrarias, é importantes 1 atmósfera.

3.° Cuando en los descensos por cuestas rápidas los cilindros efectúan el trabajo importantísimo de la compresion, este trabajo mismo obra como freno el más eficaz, que impide y anula los peligros de una bajada innecesariamente veloz (1).

(1) De un informe dado por el General Haupt, ingeniero del Hoosac (testigo de mayor excepcion, pues para la perforacion de este túnel no quiso emplear el aire comprimido), resulta que en los aero-motores del *Second Avenue Railroad*, Nueva-York, 4 libras de aire al calentarse se llevan consigo 1 libra de agua, y que el aire comprimido (que entra

4.° Caso de descarrilar, estos motores tienen medios suficientes para volver á entrar por sí mismos en la via.

5.° Por de contado, estos motores no necesitan maquinistas experimentados: la via se ve mejor que con caballos, las paradas son más rápidas que con éstos, etc.

## IV.

El único aparato que parece en condiciones de luchar hoy por hoy en los tranvías con el aire comprimido, es la locomóvil de agua caliente sin hogar, de Lamm y Francq. Inventada en Nueva-Orleans, Estados-Unidos, por Lamm, y perfeccionada en París por Francq, ha estado últimamente en París mismo al servicio del público entre Rueil y Marly-le-Roy.

Una corriente de vapor á alta presion, producida por una caldera fija en la estacion de partida (1), calienta una cierta cantidad de agua contenida en otra caldera mas pequeña existente en la locomotora sin hogar. El vapor cede todo su calor al agua. No hay nada más simple.

La temperatura correspondiente á la produccion de vapor, crece segun se aumenta la presion sobre la superficie libre del líquido; y, así, se calienta éste hasta que tiene la presion de 15 atmósferas, para lo cual basta una temperatura de 200°. El vapor puede, pues, utilizarse á presion plena y con expansion; porque una masa de agua recalentada es un almacen de energía, lo mismo que la equivalente masa de carbon. El agua caliente á 200° almacenada en la caldera móvil pesa 2000$^k$.

El principio, como se ve, es excelente. Este sistema no necesita más que calderas fijas y material móvil. Ahorra los compresores de aire: no necesita maquinista ni fogonero para el trayecto: previene las explosiones..... La caldera es de acero y probada á 22 atmósferas. Debe funcionar bien; y, si no resulta enteramente satisfactorio, lícito es sospechar que no se le utiliza científicamente,

---

en los cilindros á 16 atmósferas) dobla su fuerza al calentarse, por el solo costo de un céntimo de dollar cada milla horizontal. Si el aire á cero ocupa un volúmen como 1, ocupará á 100°, 1,37 estando seco, y 2,67 saturado de humedad. Pero todo este aumento no se utiliza, pues, segun experimento, 12 $^1/_2$ millas en el *Second Avenue Railroad* gastan la misma cantidad de aire caliente y saturado de humedad que 6 $^1/_4$ de aire enteramente seco: mas puede tenerse por seguro, que la operacion de saturar el aire comprimido haciéndole atravesar agua caliente dobla su potencia prácticamente. The power secured and utilized in air compressed with the best engines and compressors now in use, costs, as compared with ordinary steam street motors only one fourth as much per horse power measured by the coal actually consumed. El costo de la traccion por máquinas de vapor para tranvías, segun Haupt, es la mitad de la traccion por sangre, y por consiguiente la traccion por el aire comprimido «en las peores circunstancias» no puede dejar de ser $^1/_6$ más barata.

(1) Por razones bien óbvias, estas máquinas fijas deben situarse en el centro, no á la cabeza, de las líneas de los tranvías, como hasta ahora se viene haciendo.

ó acaso que alguna condicion teórica no se ha tomado bien en consideracion (1).

## V.

El aire comprimido no es, pues, un rival del carbon: podrán serlo los saltos de agua, el calor solar, el calor central, las mareas, las olas, etc.; pero el aire, agente de transmision por excelencia, debe considerarse—en su calidad intrínseca de resorte—como un motor secundario, depositario de energía prestada; como la gravedad residente en un peso préviamente suspendido para mantener la marcha del péndulo de un reloj.

Nada, pues, tendria de extraño que el vapor superase al aire en lid galana; pero es digno de consideracion, respecto al caso particular que estamos estudiando, el hecho de haberse establecido en los tranvías del Norte de París conjuntamente con las locomotoras Francq, de agua caliente y sin hogar, los coches auto-móviles Mékarski de aire comprimido, y recalentado tambien por agua caliente, y sin hogar. Esta competencia no parece implicar desventaja de los coches Mékarski, respecto de los Francq; y, sin embargo, una derrota en esta clase de competencias no invalidaria las ventajas del aire comprimido allí donde su empleo es ineludible, ni tocaria en lo demás al fondo de la cuestion.

El aire, pues, en virtud de sus condiciones especiales, comprimido por la energía del carbon de piedra (no por la de agentes más baratos, como los saltos de agua, los rios, las mareas, etc.), puede luchar, aun sin aprovechar la expansion,

1.° Con el trabajo del hombre;

2.° Con el trabajo del caballo;

3.° Con las máquinas de vapor de la industria urbana;

4.° Con la locomocion en los tranvías por bestias y por locomotoras de coke;

Y, aprovechando la expansion por medio del procedimiento Mékarski ó del aire enteramente seco (2),

5.° Con las locomotoras de hogar para tranvía;

Y compite

(1) 1174 kilógramos de agua á 200°, deben producir vapor para remolcar 12 toneladas á 10 kilómetros. Un kilógramo de agua á 200°, debia dar 1796 kilográmetros entre los límites de $14^k$ de presion á la partida y 2 á la vuelta. La máquina de agua caliente sin hogar, segun su perfeccionador Leon Francq, debe recorrer con un recipiente de 2000 litros, 36 kilómetros en dos horas con 10 toneladas de peso. ¡Y no los recorre!

La pérdida de calor es casi nula, por estar perfectamente evitada la irradiacion: en 4 horas en invierno baja la presion de solo 1 atmósfera. ¿Qué hay no tenido en cuenta al hacer el cómputo? ¿Será que el peso muerto en la Francq es de $2000^k$ de agua caliente, mientras que en la Mékarski es solo de $100^k$ el de aire comprimido?

(2) Segun el procedimiento usado en Delamater Works, Nueva-York, de que se habla en nota precedente.

6.° Con las locomotoras de agua caliente y sin hogar.

¿Cuánto, pues, no deberá esperarse del aire, si en vez de ser comprimido por el caro carbon de piedra, lo fuese por los motores baratos que ahora no se aprovechan?

## VI.

### *Comparacion de la transmision pneumo-dinámica con la electro-dinámica.*

Actualmente se hace uso de máquinas magneto-eléctricas para transmitir la accion de una fuerza cualquiera. La máquina Gramme es reversible: puesta en marcha por un agente eficaz, el vapor, por ejemplo, puede convertir su movimiento en electricidad, luz, etc., ó bien, por medio de un alambre de gran grueso, puede transmitir ese movimiento á otra segunda máquina Gramme, ó á otras varias colocadas á distancia de la primera; transmision hasta cierto punto análoga á la de una primera polea que pone otra ú otras en marcha por el intermedio de correas ó de cables. No es por cierto la menor de las maravillas de este siglo la transmision de fuerza por telégrafo.

Los ensayos hechos no dejan lugar á duda respecto á la posibilidad de la transmision electro-dinámica. Ya en la Exposicion de Viena una máquina magneto-eléctrica Gramme puso en movimiento á otra bien distante.

La Sociedad de Val d'Osne tiene un establecimiento en París para cobrizar el hierro colado, y lo hace por máquinas Gramme. Una en marcha transmite su accion á otra situada en el salon de galvanoplastia á 120 metros de la primera: esta transmision para efectos galvanoplásticos es debida á Mr. Cladiat, quien regula la velocidad de la segunda máquina interponiendo convenientes resistencias en el circuito.

Hasta ahora el grave inconveniente de esta admirable clase de transmision (que pudiéramos llamar telo-eléctrica) está en la enormidad de la pérdida de potencia cuando aumenta la distancia. Para que la electricidad no se convierta en calor, se necesitan barras de cobre de un grueso extraordinario. Habiéndose discutido en el Norte de América la posibilidad de la transmision telo-eléctrica de la gigante fuerza del Niágara hasta Hamilton, Ontario, se vió que prácticamente no es hoy posible, por haber de aumentar indefinidamente el diámetro del conductor con la distancia. Ya entre estaciones relativamente cercanas (10 millas), se necesitan barras de cobre de 3 pulgadas de grueso perfectamente aisladas.

Parece, pues, que hasta ahora no hay transmision que pueda competir con la del aire comprimido; sin contar con la admirable propiedad de este resorte que no gasta fuerza primaria cuando huelga, que puede aguardar indefinidamente sin perder de la energía en él almacenada, que es capaz de fraccionar su

potencia en todas proporciones, y que para trabajar no necesita del trabajo simultáneo del motor primario: la segunda máquina Gramme no trabaja cuando no está en marcha la primera.

La transmision por medio del aire comprimido se parece en cierto modo á la transmision por medio de la escritura. La eléctrica á la que se verifica por medio de la palabra. Esta necesita un oido que escuche en el momento mismo de la emision: la palabra escrita puede aguardar indefinidamente.

Pero supongamos que el sistema de barras conductoras de cobre (ú otro equivalente) no fuese obstáculo á una transmision no limitada por cierta magnitud en la distancia: supongamos que siempre pudiera encontrarse en la 2.ª Gramme el 50% de la fuerza del motor primario; aun en tal caso, no parece que la transmision eléctrica llevase ventaja á la pneumática, como haya aero-motores que utilicen el 50%, cual ya los hay, y si no sale fallida la esperanza de que en dia no lejano aparezcan motores de aire que utilicen un tanto por ciento considerablemente mayor.

## VII.

Solamente las máquinas de gas de pequeñas dimensiones parecen poder luchar en la industria urbana contra los motores de aire comprimido; y aun esto solo mientras para percondensar el aire se haga uso de carbon; que cuando el aire se comprima con motores más baratos, tales como las corrientes de los rios, etc., entonces en la industria urbana no conocerá rival el aire percondensado.

Lo esencial de este problema no está en el empleo del aire atmosférico percondensado, sino en su produccion barata por medio de motores naturales, accesibles, abundantes, permanentes, y cuya conquista no exija instalaciones costosísimas; pues evidente es que una fuerza gratis puede exigir tan onerosos gastos iniciales, que solo la renta del capital invertido haga imposible toda explotacion.

Todavía no ha pasado la pertinaz invencion el número de noches de insomnio y ahincos, necesario para cristalizar en máquinas perfectas las ideas representadas en los aero-motores fijos actuales, ni en los semovientes; pero, como el horizonte de la limitacion y del estancamiento es un mito, esperemos á que algo decisivo salga de ese mundo de lo ignorado, ó apenas conocido, tan lleno, sin embargo, de posibilidades y soluciones prácticas, aunque solamente para aquellos hombres tercos y afortunados, nacidos con la facultad divina que nadie puede explicar ni ménos adquirir: la Imaginacion; facultad que vislumbra, y descubre, y sorprende secretos de larga vida en la region ultra-visible de los hechos conocidos y de las reglas archivadas.

Además, aunque, en general, no sea viable ningun invento que no venza en baratura á sus similares, no echemos en olvido que en muchas ocasiones no

reclaman la industria, la agricultura, la navegacion, la mecánica..... lo más barato, sino lo más pronto, y siempre lo más propio y adecuado; y que el micrómetro mental ve perfecciones centesimales donde la alta banca no distingue ni unidades siquiera. La ciencia no aspira á lo imposible, pero siempre camina hácia lo ignorado, segura de encontrar ricos veneros de riqueza, escondidos en terrenos que de lejos parecen no prometer cosa ninguna.

Mucho es que el aire, comprimido por la energía del carbon fósil, pueda ya en algun caso competir con el vapor á cielo descubierto, mientras que el vapor no puede competir con él en la lucha subterránea.

¿No debemos, pues, esperar maravillas cuando la compresion se verifique por solo el costo de la maquinaria, merced á la energía gratuita de poderosas fuerzas naturales no esclavizadas aún?

# LIBRO VI.

## LAS LEYES DE GAY-LUSSAC Y MARIOTTE, Y LA TEORÍA DINÁMICA DEL CALOR.

# CAPÍTULO I [1].

## MATERIA Y MOVIMIENTO EN GENERAL.

### I.

Hasta diciembre de 1877, todos los gases podian pasar al estado líquido, enfriándolos y comprimiéndolos fuertemente, excepto seis: hidrógeno, oxígeno, ázoe, hidrógeno protocarbonado, óxido de ázoe, y óxido de carbono.

Estos seis gases habian resistido á las más fuertes compresiones sin cambiar de estado, por lo cual se conocian con el nombre de GASES PERMANENTES.

El aire atmosférico en vano se habia comprimido por ANDREWS en 1861 hasta dejarlo reducido bajo la doble influencia de la presion y de un frio de —79° C. á $\frac{1}{675}$ de su primitivo volúmen (en cuyo caso la densidad venia á ser próximamente la del agua); el oxígeno á $\frac{1}{554}$; el hidrógeno, y tambien el óxido de carbono, á $\frac{1}{278}$; y el óxido de ázoe á $\frac{1}{680}$. BERTHELOT sujetó en 1850 á inmensas presiones el oxígeno (800 atmósferas), el óxido nítrico y el óxido carbónico, sin conseguir tampoco su licuefaccion. NATTERER en 1854 habia comprimido en Viena el hidrógeno y el ázoe á las fantásticas presiones de 2790 atmósferas, y el oxígeno á 1354, tambien sin lograr convertir en líquidos, gases tan rebeldes.

Los físicos, no obstante, no podian teóricamente admitir semejante excepcion; y, con efecto, porque no creian en ella, insistian con terquedad en someter los gases permanentes á frios tan intensos y á presiones tan exageradas.

¿Qué motivos tenian para su nunca fatigada insistencia?

### II.

Es una ineludible necesidad de nuestro entendimiento, admitir que cuanto ahora ocurre es la resultante actual de fuerzas anteriores. De aquí que cuando, mudas las esfinges á quienes interrogamos, no quieren darnos respuesta, tra-

---

(1) Para la formacion de este libro he tenido á la vista, además de las obras generalmente conocidas, muchos periódicos científicos, varios discursos de WURTZ, ALF. MAYER y LODGE, y el notable trabajo, titulado *Mémoire sur la liquéfaction de l'oxigène, la liquéfaction et la solidification de l'hydrogène, et sur les théories des changements des corps*, par RAOUL PICTET.

temos de adivinar y de suplir lo que nos callan, y supongamos lo que nos niega su silencio.

Cuando nos falta una explicacion, la inventamos.

La Ciencia antigua adoraba las obras de sus manos, y confesaba en dogmas de su Imaginacion, perfectamente escogidos para prestarse dóciles á todas las explicaciones que de ellos entonces se exigian; porque la perspicacia filosófica los dotaba precisamente de todas aquellas propiedades que parecian necesarias al efecto. El mal estaba en considerarlas VERDAD EN ABSOLUTO. Eran, pues, dogmas de intolerancia y petrificacion.

La ciencia moderna tambien confiesa en dogmas de la fantasía sistemática para hacer un conjunto teórico de las leyes que descubre; pero sus hipótesis y teorías han de someterse á una contingente condicionalidad, sin la cual las abandona; ¡progreso gigantesco, jamás visto en la historia hasta este siglo grandioso, que nunca estima como CIERTO EN ABSOLUTO lo que en su fondo es eminentemente CONJETURAL! Una vez admitidos esos dogmas, las leyes de los fenómenos han de aparecer como consecuencias naturales de la suposicion imaginada; y, solo mientras dentro de su esfera caben los hechos observados, continúa erguida la teoría sobre su eminente pedestal, sirviendo de guia, tanto á los iniciados que caminan por las trilladas sendas de los conocimientos establecidos, como á los aventureros que navegan audazmente á través de los mares nebulosos de lo ignorado.

Pero ¿no caben los hechos, un hecho indubitado, uno solo, dentro de la hipótesis? Entonces ¡abajo la teoría! ¡Venga otra! Y solo quedan perennemente en pié las leyes de los fenómenos; mientras sus explicaciones se deshacen en ruinas. Segun decia GALILEO, lo ABSOLUTO nos escapa, y solo nos es dado conocer las relaciones de los fenómenos: SUS LEYES.

Sin embargo, como invenciblemente necesitamos conexionar hechos y leyes, volvemos á inventar teorías.

## III.

A pesar de nuestros grandiosos descubrimientos modernos, nada nos revela acerca del interior de los cuerpos la más detenida inspeccion de su exterioridad. Completa es nuestra ignorancia respecto á la constitucion de la materia. Sin embargo, hemos suplido el silencio de las esfinges, y en elevados obeliscos tenemos grabados con claros caractéres (no en geroglíficos ininteligibles á los profanos, como los del antiguo Egipto) las respuestas que — súponemos — nos debieran dar. Por esto, las aceptamos interinamente, y solo por su gran probabilidad científica. Son verdaderamente conjeturas, elevadas al sublime rango de teorías.

Para los hombres de las ciencias naturales, el problema está encerrado en la determinacion de dos solas palabras:

Materia;

Movimiento:

de cuya esencia solo nos es dado conocer algunas leyes, y formarnos conceptos que satisfagan HOY POR HOY nuestra curiosidad científica, y la necesidad irresistible de eslabonar hechos y leyes.

IV.

Vemos el sol, padre de toda la energía planetaria, ó sentimos su calor prolífico y bienhechor; y la geometría nos revela la inmensidad de su distante mole. Llega la noche, madre de los grandes conceptos cosmogónicos, y, atónitos y estupefactos, nos pasman de admiracion esas miriadas y miriadas de luminares diseminados por los cielos á distancias increibles; inspeccionamos á través de los grandes telescopios, y descubrimos un PLUS ULTRA infinito; sondamos las remotísimas nebulosas..... comprendemos al punto que el límite de nuestra visibilidad no es el límite del universo..... y para explicarnos la percepcion de sol, estrellas nebulosas..... llegamos á la concepcion del ÉTER— océano infinito, contínuo, de sustancia tenuísima, material, impalpable, invisible, incoercible, imponderable, elástica en grado inmenso, receptáculo de energía incalculable, y cuya presion debe ser prodigiosa, á tomar como indicio la velocidad de la luz—¡300000 kilómetros por segundo!

Algo hay—nos decimos—entre nosotros y ese sol que nos da vida; algo entre nosotros y esos grupos estelares que ensanchan nuestras concepciones del Cosmos; algo entre esas estrellas dobles, triples y cuádruples, que constituyen inexplicados sistemas de recíproca atraccion; algo entre nosotros y esas nebulosas, gérmenes de mundos indescifrables..... algo hay entre nosotros y el invisible *plus ultra*..... porque es inconcebible una accion á distancia, si falta un inter-medio suficiente: que un cuerpo no puede transmitir su accion donde no hay otro: algo hay, pues, directamente imperceptible, pero que afecta nuestras pupilas desde los remotísimos abismos del espacio, y que se nos revela en los fenómenos misteriosos de la luz.

Hechos: nuestra vision.

Hipótesis: el éter.

Y, dada la hipótesis de que la luz es un movimiento vibratorio de una sustancia imponderable é inmensamente elástica, todas las leyes experimentales de la óptica han de ser y son ¡cosa admirable! comprobantes infinitos de la teoría de la undulacion. Con lo cual solo decimos, no que estamos en posesion absoluta de la verdad, sino que los hechos son tales como serían si los fenómenos luminosos fuesen vibraciones de un medio considerablemente elástico; y, aunque tanta conformidad entre los hechos y la teoría, nos lleve á mirar la undulacion como una *vera causa*, nos guardamos de ver en tal hipótesis más que una probabilidad, hoy por hoy de inmensa verosimilitud.

V.

Los cuerpos caen hácia el centro de la tierra; demostramos que la tierra gira alrededor del sol; las estrellas tambien alrededor unas de otras.....

. Estos son los hechos.

Ley al principio conjetural y hoy principio científico reconocido, los cuerpos se atraen en razon directa de sus masas, é inversa del cuadrado de sus distancias. ¡Ley tanto más admirable, cuanto que nada presupone respecto de la naturaleza ó esencia de esa atraccion, impulso ó presion, que dirija las masas terrestres y sidéreas unas hácia otras! ¡Ley tan fundamental en las creencias científicas, que, cuando los fenómenos no se ajustan estrictamente á las exigencias de la teoría, los astrónomos no dicen—«dudemos de la ley»—sino—«en tal punto del cielo hay un astro perturbador»..... y los telescopios de los Observatorios se dirigen á ese punto, y en él precisamente descubren al planeta de Leverrier—á Neptuno—y, en cierto sentido, al de Lescarbault—á Vulcano!

Grandes moles astronómicas se mueven, pues, en el inmenso océano del éter, con arreglo á la mecánica racional.

Hé àquí un primer concepto científico de la materia y del movimiento. Continuemos.

VI.

La inmensidad de los espacios celestes nos espanta; la diminutísima infinitud de las moléculas de los cuerpos nos comprime de admiracion.

Vemos el agua; pero no hay microscopio que pueda revelarnos lo que la hace á veces desagradable al gusto ó al olfato. Algo es ello, sin embargo; pero ese algo es tan inapreciable, que resulta como inaccesible á todos nuestros medios analíticos. La salud distribuye el bienestar y la alegría en una apiñada poblacion: ¡de repente un ejército de asesinos invisibles suspende en todos las funciones de la vida, y pronto faltan vivos para enterrar á los muertos! ¿Quién tuvo vista bastante perspicaz para discernir los deletéreos miasmas de la muerte? (1)

---

(1) La magnitud de las moléculas no cesa de ejercitar los cálculos de los físicos, especialmente en los modernos tiempos, por la importancia de la determinacion de los espacios intermoleculares, y su reduccion ante presiones exageradas, sin arreglo á la ley de Mariotte.

La película de una pompa de colores puede mantenerse tersa y sin romperse hasta tener un grueso ciertamente menor que una cienmilésima de milímetro. Las leyes de la óptica y de la geometría no dejan duda acerca de lo exacto de esta diminuta medicion. Con agua pura no podria formarse la pompa de

La epidemia; hé aquí el hecho.

Los miasmas; hé aquí la hipótesis.

La materia que vemos y palpamos, debe en general concebirse como inmensamente divisible. Una gravitacion intelectual irresistible nos lleva á considerarla formada de partes diminutísimas y que no se hallan en contacto. Ciertamente que no vemos estas partes, ni aun asistidos nuestros ojos de los micros-

---

colores; pero, agregando al agua $^1/_{100}$ de jabon, ya adquiere el líquido la viscosidad necesaria al efecto.

Supongamos ahora que haya una sola molécula de jabon en la película de la pompa al tiempo de romperse, y claro es que esta molécula será la

$$\frac{1}{100} \text{ parte de } \frac{1}{100000} \text{ de milímetro;}$$

de manera que en 1 milimetro lineal podrian colocarse en fila más de 10 000 000 de moléculas de jabon; y en el milímetro cúbico cabrian—cuando ménos—

$$10\ 000\ 000^3 = 1\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000$$

¡la unidad seguida de 21 ceros! ¡Mil trillones de moléculas de jabon.

Y cuenta que esa molécula de jabon, no es un cuerpo simple, sino de los más compuestos: en la película habrá ciertamente al desgarrarse

| | | |
|---|---|---|
| JABON, compuesto de | Sosa, compuesta de........... | Sodio. Oxígeno. |
| | Acido esteárico, compuesto de. | Carbon. Hidrógeno. Oxígeno. |
| | Acido margárico, compuesto de. | Carbon. Hidrógeno. Oxígeno. |
| | Acido oléico, compuesto de.... | Carbon. Hidrógeno. Oxígeno. |
| AGUA, compuesta de | Hidrógeno. Oxígeno. | |

¿Qué tamaño, pues, debemos asignar al sodio, al carbon, al hidrógeno y al oxígeno?

En los puertos de mar no se pueden hacer observaciones espectroscópicas sin que aparezca la raya amarilla del sodio, causada por las moléculas invisibles é inapreciables de la sal comun flotante en la atmósfera.

SPOTTISWOODE, en su *Adress before the British Association*, despues de decir que de los gérmenes deletéreos—ó lo que fueren—destructores de la vida en las epidemias, la química nos revela poco ó nada, recuerda que la ciencia tiene que habérselas constantemente, no ya con moléculas sin vida, sino con organismos completos, cuyas partes asombran por su pequeña infinitesimalidad. ¿Cuáles son, exclama, las diferencias de presion, y, por consiguiente, de distancia en el radiómetro de CROOKES? ¿Cuáles las excursiones del aire, cuando transmite notas agudísimas? ¿Qué sabemos de las arrugas infinitesimales ó nodos del teléfono de BELL? ¿Qué espacios podemos asignar á las modificaciones del micrófono ó del tasímetro de EDISON, con el cual se pretende medir las distancias estelares? Ya quizás en el teléfono se han traspasado, sin notarlo, los límites existentes entre el movimiento corpuscular y el molecular.

En virtud de atendibles consideraciones, convergentes desde todos los departamentos de la ciencia, se estima que el diámetro de una molécula debe ser muy próximo á $^1/_{100\,000\,000}$ de milímetro. Autores hay que suponen más y otros ménos; pero, con solo admitir, como para el caso anterior de la molécula de jabon, $^1/_{10\,000\,000}$, ya en el milímetro cúbico encontramos trillones.

Semejantes números son tan ininteligibles, que solamente recurriendo á espacios de tiempo considerables y á ficciones extrava-

copios de mayor amplificacion. Ciertamente que las ciencias naturales son ciencias de observacion y experimentos; pero la palabra OBSERVACION no debe tomarse en un sentido tan restrictivo, que no nos sea lícito inferir lo que continuarán siendo las cosas cuando nuestros medios de inspeccion acaben, bien por la imperfeccion de nuestros órganos, bien por la limitacion de nuestros instrumentos. ¿Podrá álguien decir con razon que los límites del universo son los de nuestra visibilidad? ¿Quién no cree en el PLUS ULTRA?

Partes tienen los cuerpos, puesto que podemos triturarlos y porfirizarlos hasta reducirlos á polvos impalpables, disolverlos, vaporizarlos. Pero ¿nos será lícito asegurar que no hay nada más pequeño que este polvo impalpable obte-

---

gantes de la imaginacion, es como podemos empezar á asombrarnos de su magnitud. Suponiendo (como lo hace con la mayor formalidad una veterana Revista inglesa, *Nautical Magazine*, enero 1878), que se hubiese encomendado á duendes muy listos é industriosos la tarea de construir gotas de agua pequeñísimas, encargándoles que por segundo acomodase cada operario en el órden conveniente 1 millon de moléculas, sin serle nunca permitido pararse, ni descansar, ni dormir, cada uno de los duendes necesitaria 10 millones de años para terminar una gota de la capacidad de 1 milímetro cúbico, y 10 billones de años para llenar una botella de 1 litro de capacidad.

Pero ¿hay álguien que se figure lo que es 1 billon?

Hace años corrió por los periódicos la graciosa computacion siguiente, que, por su ingenio, no debe caer en el olvido.

Imaginemos una persona de lengua tan expedita y pronunciacion tan clara que pueda contar 100 números cada minuto, diciendo, segun la série de los números naturales, 1, 2, 3, 4, 5..... etc., sin omitir nunca ninguno, ni pasar nada por alto. Imaginemos tambien—contra lo evidente—que siempre invierta el mismo tiempo que en pronunciar 1, 2, 3, 4, 5..... en decir, por ejemplo, 12591, 12592, 12593.....; y tendremos que, si en cada minuto dice 100 números,

| | |
|---|---|
| en cada hora dirá 60 × 100 = . | 6 000 |
| y en cada dia 24 × 6000 = | 144 000 |
| Pues admitamos que cuente hasta...................... | 200 000 |
| Entonces, en cada año dirá 365 × 200 000 = ........... | 73 millones. |
| Concedámosle hasta.......... | 100 millones: |
| y así en 10 000 años llegará á 10 000 × 100 millones = .... | 1 billon. |

Por manera (y aquí entra lo jocoso de la ocurrencia) que si nuestro padre Adan no se hubiese muerto todavía, y jamás se hubiera ocupado más que en decir números sin saltar ninguno, y sin comer, dormir ni descansar en ocasion ninguna, ni por ningun motivo, ni aun por la tentacion de la manzana, todavía necesitaria (segun la cuenta del P. PETAVIO) más de 4000 años para poder llegar á decir 1 millon de millones, ó 1 billon. ¡La unidad seguida de 12 ceros!

1 000 000 000 000

Y ¡luego nos espantamos cuando, oyendo en la noche el agudo silbido de las alas de un mosquito, nos dice un profesor *dilettante*, que, para producirlo, las alas del insecto se abren y se cierran 15000 veces por segundo!

Los misterios nos circundan, porque pretendemos medirlos con nuestra insignificante personalidad. Porque no pensamos, es por lo que nos asombra el mundo infinitesimal. En él un segundo de tiempo es un evo inacabable.

Verdaderamente no se hallan fronteras, ni caminando hácia lo infinitamente grande, ni hácia lo infinitamente pequeño. Pero no sé por qué la imaginacion se aturde ménos cuando se dilata hácia lo grande que cuando se recoge hácia lo pequeño. Y ¡pensar que todavía las moléculas no se tocan! ¡Que los espacios entre ellas existentes deben ser mayores que sus diámetros! Y ¡concebir que las moléculas son séres compuestos! ¡A qué pueden quedar reducidas las dimensiones de los componentes!!!

nido por los actuales medios mecánicos? Si yo disuelvo un centímetro cúbico de fluorescina ($C^{20} H^{12} O^{5}$) en 20 toneladas de agua, y la coloracion del líquido, claramente visible todavía, fluorescente al sol desde un verde ligero á un amarillo brillante, me está todavía indicando irrecusablemente que la fluorescina se halla de cierto dividida en 20 millones de partes, ¿podrá serme permitido asegurar que no cabe division mayor?.....

No; porque ante los ojos del raciocinio inductivo, las generalizaciones tienen tanto valer como la observacion directa de los hechos, cuando á ellas no se oponen otros hechos indubitados. Todos los cuerpos menguan en volúmen ó se contraen cuando disminuye su temperatura, y, como siempre siguen menguando de volúmen, por mucho que sea el frio á que se los someta, naturalmente debemos suponer que las partes íntimas de los cuerpos no llegan nunca á tocarse. Además, con frecuencia mezclamos volúmenes iguales de ciertas sustancias, y el conjunto de la mezcla ocupa un espacio menor que 2 volúmenes: ha habido, por consiguiente, contraccion, fenómeno que sería imposible (admitida la impenetrabilidad de la materia), caso de no haber existido en las sustancias poros físicos, diminutos é invisibles, espacios vacíos de materia ponderable entre las partículas interiores de los cuerpos, y, por tanto, diferentes de los poros materiales que todos observamos en las sustancias esponjosas (1). Además, nadie ignora que los cuerpos generalmente pueden afectar los tres estados: con el calor, 1 gramo de hielo produce 1 gramo de agua; con más calor, ese gramo de agua da 1 gramo de vapor, que ocupa 1700 veces el volúmen del líquido. No ha habido, pues, ganancia ni pérdida de materia ponderable con el cambio de estado; pero los volúmenes han variado: luego el mismo número de moléculas materiales estuvo muy contíguo cuando hielo y cuando agua, y 1700 veces más distante cuando vapor.

Hechos: las contracciones de las mezclas y la reduccion de los volúmenes con el frio.

Hipótesis: las moléculas no se tocan: entre ellas hay espacios sin sustancia ponderable: la materia ponderable es discontínua.

---

(1) Si se mezcla 1 volúmen de agua con 1 volúmen de alcool, el conjunto ocupa ménos de 2 volúmenes: tales líquidos son, pues, porosos uno para otro. 150 volúmenes de hidrógeno y 50 de ázoe se condensan al combinarse en 100 volúmenes de amoniaco. Estos gases se han como compenetrado, lo que sería imposible si entre las moléculas no hubiese espacios desprovistos de materia ponderable. Pásese 1 cañon de fusil entre 2 cilindros; ciérrense herméticamente los extremos, y colóquese este tubo chato en una fragua; los gases del hogar penetrarán en el interior por los invisibles poros, y se acumularán dentro con presion tan formidable, que el cañon volverá á su primitiva forma cilíndrica. Este notable experimento se debe á CAILLETET.

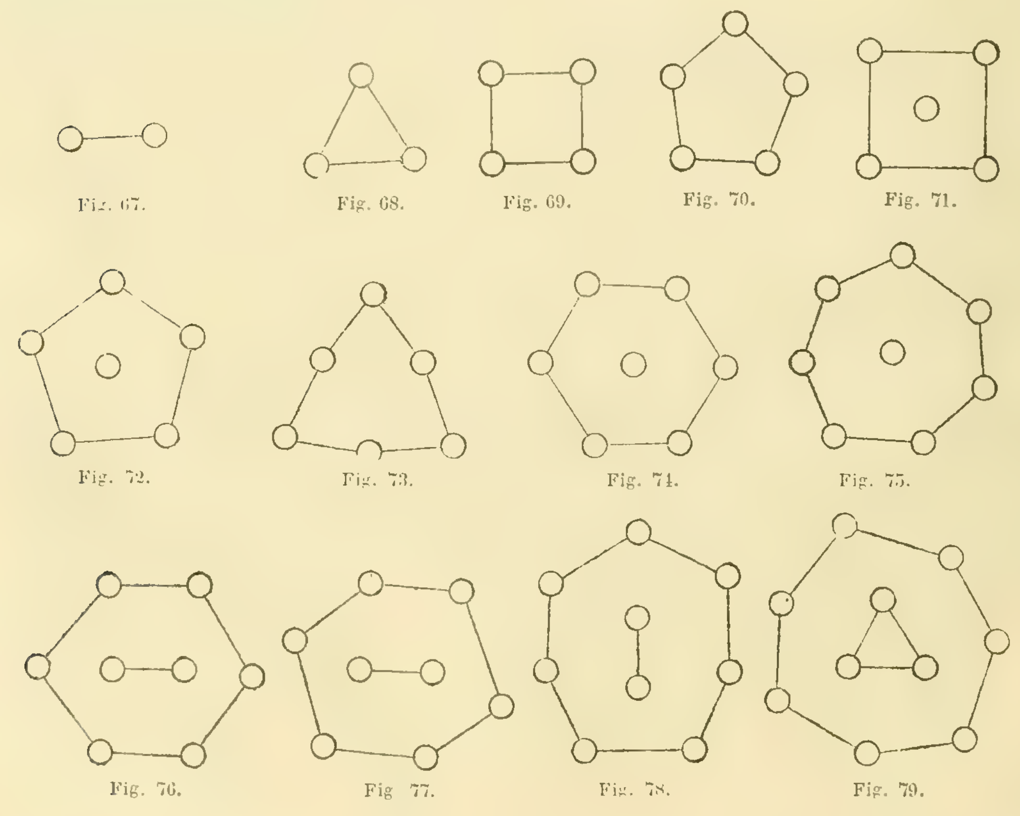
## VII.

Pero esta hipótesis, aunque sostenida por legiones formidables de hechos, no basta para dar razon del estado de los cuerpos. Implica otras; porque tales fenómenos suponen que esas diminutísimas partes están, en los sólidos, sostenidas á distancia por fuerzas antagonistas y en equilibrio: una de atraccion y otra de repulsion, las cuales en los sólidos conservan y mantienen las moléculas en relaciones invariables mientras fuerzas exteriores no vienen á turbar el equilibrio del sistema (1).

(1) Alfredo Mayer hace patentes curiosos casos de atraccion y repulsion, experimentando del modo siguiente.

En chatas redondelas de corcho clava, hasta los ojos y perpendicularmente, pequeñas agujas de coser, cuyas puntas ha tocado antes en el mismo polo de un muy potente iman. Echa luego corchos con sus agujas, clavadas del modo dicho, en agua bastante para que tales sistemas puedan flotar, y, como las agujas se colocan verticalmente, presentándose recíprocamente polos de la misma denominacion, se repelen, y los flotantes corchos se separan. Ahora bien: si estando ya apartadas las agujas, se aproxima á ellas de arriba hácia abajo el polo de un iman de distinta denominacion que los polos de los ojos, los corchos se aproximan y se agrupan formando figuras geométricas de la mayor regularidad, unas fijas y de equilibrio invariable, y otras fácilmente modificables desde una agrupacion poco estable á otra más permanente.

Hé aquí algunos ejemplos. Las figuras se tomaban dejando caer tarjetas sobre las cabezas de las agujas, dadas de tinta préviamente.


Fig. 67. Fig. 68. Fig. 69. Fig. 70. Fig. 71.
Fig. 72. Fig. 73. Fig. 74. Fig. 75.
Fig. 76. Fig 77. Fig. 78. Fig. 79.

A la fuerza que dirige y lleva las moléculas unas hácia otras, se le ha dado un nombre: COHESION (palabra que, en verdad, para muchos no implica si esa fuerza es una mútua y recíproca traccion de las moléculas entre sí, ó bien una presion externa). La fuerza que las desvía ha ejercitado mucho tiempo la sagacidad científica, hasta que al fin, unánimes los físicos, la han declarado idéntica á la que nos produce los efectos fisiológicos designados con el nombre de CALOR. El CALOR, pues, es un movimiento de las partes diminutas de la materia ponderable.

Pero el calor no es un movimiento cualquiera: es un modo especial de movimiento. Los hombres de la ciencia admiten que en los sólidos las moléculas no residen de manera alguna inmóviles, sino que, sin tregua ni descanso, están ejecutando infinitos movimientos vibratorios en los espacios que las separan, conservando, no obstante, sus posiciones respectivas, y acaso movimientos de rotacion y translacion, á estilo de los astros. Esas excursiones vibratorias son susceptibles de aumento y disminucion: su amplitud no es invariable, y guarda relacion con el exceso de calor, ó con su DEFICIENCIA, que se nos aparece como frio.

Cuando calentamos un cuerpo, una parte del calor sirve para elevar la temperatura, y otra para aumentar las distancias intermoleculares: el cuerpo, pues, se dilata y la COHESION disminuye (sea esa cohesion movimiento de mútua atrac-

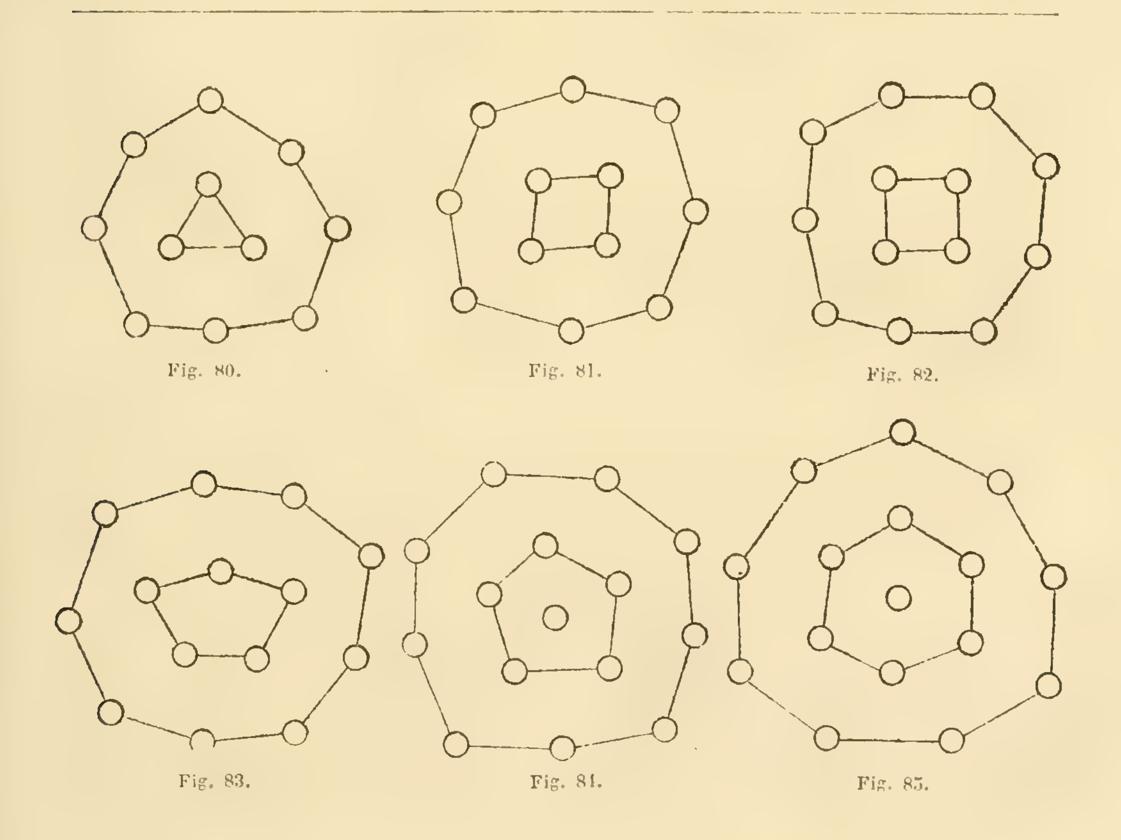


Fig. 80. Fig. 81. Fig. 82.

Fig. 83. Fig. 84. Fig. 85.

cion de las moléculas, ó efecto convergente, resultado de presiones externas). Y si la cohesion continúa decreciendo en energía, y las distancias aumentando con el calor, llegará necesariamente un momento en que las moléculas podrán resbalar y deslizarse alrededor unas de otras, dejando de conservar posiciones relativamente fijas (no incompatibles con movimientos individuales, rotatorios y translaticios); nueva facultad que el calor, reduciendo la potencia de la cohesion, viene á concederles de transportarse y transferirse, aunque no indefinidamente, alrededor unas de otras. El cuerpo, entonces, pasa á un nuevo estado — al estado líquido — donde el remanente de la cohesion primitiva se nos evidencia todavía: directamente en la glutinosidad de todos los líquidos, conocida con el nombre de viscosidad, en algunos por cierto muy notable (1); é indirecta-

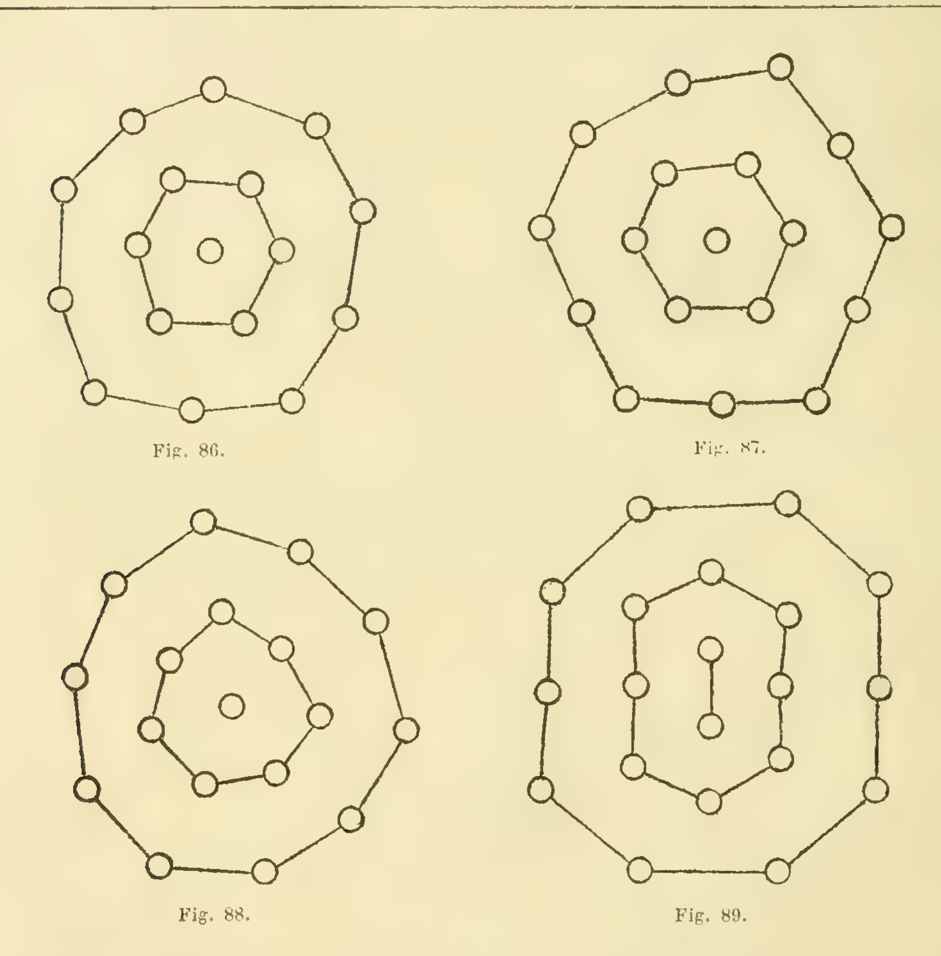


Fig. 86. Fig. 87.

Fig. 88. Fig. 89.

(1) Esta resistencia que oponen los líquidos á un súbito cambio de forma, se mide por el tiempo que tarda en verificarse el cambio, y se ha computado haciendo pasar los líquidos por tubos capilares; ó bien haciendo oscilar péndulos en los líquidos viscosos, ó discos pendientes de alambres en torsion; pero ningun experimento muestra esta clase de atraccion tan poderosamente como el de DUPRÉ. En una varilla metálica (cobre) un extremo está encorvado á ángulo recto, y la parte doblada entra, sin gran rozamiento, en

mente en la necesidad, comun á todos los líquidos, de conservar horizontal su nivel superior, por no ser tanta su independencia como fuera precisa para vencer la accion de la gravedad.

Calentando aún más el cuerpo, las moléculas podrán ya no estar obligadas á permanecer gregariamente unas junto á otras, sino que les será dable moverse y trasladarse autocráticamente en todas direcciones, cada una con independencia de las demás. Este poder de disgregacion y de autonomía molecular caracteriza el estado gaseoso (1).

---

un agujero hecho en una especie de sector horizontal. La varilla se apoya en la curva y en el agujero; se la acerca á uno de los lados del sector, y en el espacio intermedio se vierte agua de jabon. Si con la mano se desvía entonces la varilla, haciéndola girar alrede-

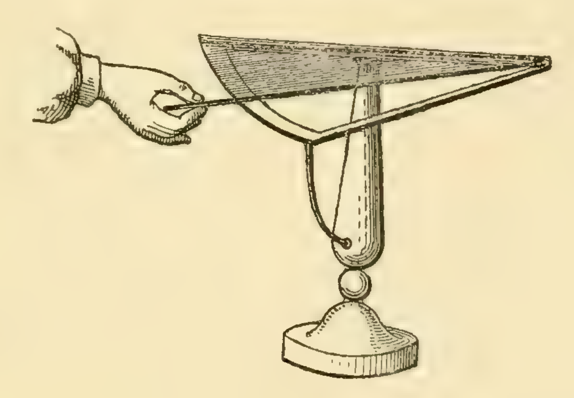


Fig 90.

dor del agujero como centro, se extiende el agua de jabon en forma de abanico; y si, cuando la varilla está en la posicion que marca la figura, se la abandona á sí misma, el líquido, como si fuera un resorte de caoutchouc, tira de ella y la lleva otra vez al lado del sector. DUPRÉ ha calculado que la atraccion mútua de dos partes contíguas del agua de jabon es de 7000 atmósferas.

(1) A VAN HELMONT, fallecido en 1644, se debe la distincion (que ha durado dos siglos, y acaba de desaparecer) entre gases y vapores, reducida como hoy ha quedado á una simple cuestion de presion y temperatura. Gas viene del sajon *gést;* aleman *Geist*, espíritu; *gäschen*, fermentar; inglés *ghost*, fantasma.

La Humanidad, viviendo en un mar de aire, no ha conocido el estado gaseoso hasta época muy moderna: ¡tan grande era la ignorancia de las edades primitivas!

Y, sin embargo, los ejemplos de atraccion molecular entre los gases y los sólidos y entre los gases y los líquidos son tan numerosos que parecia debieran haber en todo tiempo llamado la atencion. Pero solo la física moderna podia demostrar la energía de esas atracciones. El carbon (enrojecido antes al fuego para expulsar de él al aire) absorbe 90 veces su volúmen de gas amoniaco. El platino, calentado al rojo, absorbe 15 veces su volúmen de hidrógeno; y, suponiendo la capacidad de los poros del platino, dada su gran densidad, igual á $^1/_{1000}$ del volúmen aparente, el hidrógeno estaria sujeto dentro de los poros á una presion de 15000 atmósferas. El paladio absorbe 600 veces su volúmen de hidrógeno. Pero los antiguos ni aun sabian explicar por la atraccion molecular el porqué los líquidos suben por los tubos capilares de las plantas, el porqué los cuerpos se mojan, el porqué se disuelven en ménstruos adecuados, el porqué las láminas de vidrio perfectamente planas se adhieren, el porqué las cristalizaciones afectan formas geométricas..... etc.

Pero siendo inmenso el número de las moléculas, y estando dotadas de una energía colosal de movimiento, que ni aun sospechan hombres versados en otras ciencias, no podrán caminar en todos sentidos, sin que á cada momento se encuentren y se choquen. En efecto, el número de sus colisiones recíprocas se cuenta por millones cada segundo, y, por tanto, sus trayectorias tienen que ser muy cortas, y, consiguientemente, rectilíneas. Y, no solo chocarán entre sí, sino contra las paredes de los vasos continentes, en número colosal de impactos incesantes; y, en verdad, ese bombardeo perpétuo y sin término contra las superficies que las envuelven y aprisionan, nos es perfectamente conocido con el nombre de PRESION. La PRESION de un gas contra el émbolo de una máquina, no es otra cosa, pues, que el empuje ininterrumpido de las moléculas al golpear sin descanso contra él. La ley de MARIOTTE es verdaderamente simple consecuencia de semejante intuicion.

Este bombardeo perpétuo de las moléculas gaseosas contra sus recipientes y contra sí propias, ha de constituir, y realmente constituye, un factor esencial entre las propiedades del estado gaseoso; por manera que, si lográsemos anular, ó, mejor dicho, aminorar sensiblemente el número de las recíprocas é innumerables colisiones de las moléculas, aparecerian los gases dotados de propiedades enteramente nuevas, y ni aun siquiera sospechadas.

Y así lo demuestra la experimentacion.

Anulado en gran parte el contínuo bombardeo de las moléculas unas contra otras, sus trayectorias se hacen de extraordinaria longitud; y, no perturbadas en su tránsito, aparecen entonces capaces de formidables é increibles efectos luminosos, caloríficos y mecánicos (1).

---

Cuando un cuerpo da contra otro, se calienta si su movimiento es bruscamente detenido: golpeando sobre un yunque una plancha metálica, la plancha eleva su temperatura.... Pues, precipitándose (con incomparáblemente mayor velocidad que la de los martillos) las moléculas gaseosas sobre los metales dotados para ellas de atraccion, deberán calentarlos fuertemente: y con efecto, tan es así, que en el bombardeo de un chorro de hidrógeno contra un pedazo de esponja de platino, está fundado el conocido instrumento llamado «eslabon de hidrógeno,» tan en uso entre la gente elegante antes de la generalizacion de los fósforos.

Las moléculas, aun en los sólidos, donde tan preponderante es la cohesion, tienden siempre á disgregarse, Por eso, al cabo de algun tiempo, desaparece un pedazo de nieve, manteniéndose la temperatura siempre bajo cero. Por eso las sustancias odoríferas hacen sentir sus aromas á distancia, etc.

Una lente convexa comprimida fuertemente sobre un espejo plano de cristal, presenta evidentes señales de que la lente no está en contacto con el plano, y ROBINSON *(Mechan. Phil.)* calcula que la distancia es $= \frac{1}{89000}$ de pulgada inglesa. Parece natural deducir que una inmensa fuerza de repulsion está en accion entre las partículas de los cuerpos cuando se hallan todo lo inmediatas que puede una fuerza mecánica ponerlas.

Hay quien admite que esta fuerza repulsiva es lo que se nos aparece en la forma de sensaciones tactiles. *(Eng. Cycl.)*

(1) CROOKES obtiene la materia ponderable en un estado tan rarefacto y casi etéreo, que los gases, respecto de él, son como los líquidos respecto de los gases que comunmente conocemos.

Por medio de la bomba hidrargiro-neu-

Toda presion gaseosa es, pues, funcion del producto del número de las moléculas por su velocidad. Si el número de las moléculas aumenta, aumenta tambien la tension en razon directa de la densidad. Y si crece la velocidad de las excursiones moleculares, el número de las colisiones está en razon directa del cuadrado de la velocidad.

---

mática de SPRENGEL (aplicacion ingeniosa *à contrario sensu* de los insufladores de las forjas catalanas) llega CROOKES á una rarefaccion tan increible, que las obtenidas comunmente con las mejores máquinas antiguas de émbolo sólido, deben mirarse como condensaciones considerables en que las moléculas gaseosas están sometidas aún á presiones elevadísimas.

Si en tubos ó ampollas de vidrio se hace el vacío Esprengueliano, la tension interna desciende hasta no ser más que $^1/_{1\,000\,000}$ de atmósfera, y, entonces, se verifican en los tubos fenómenos que confirman sorprendentemente las ideas admitidas acerca de la pequeñez de las moléculas y de la prodigiosa energía de sus movimientos, ideas primeramente presentidas por BERNOUILLI.

En efecto, si un volúmen de un gas cualquiera contiene un grandísimo número de partículas materiales, dotadas de movimientos rapidísimos en toda clase de sentidos, las recíprocas é inevitables colisiones de esos corpúsculos serán tan frecuentes, que podrán contarse por millones en cada segundo, y la trayectoria libre de cada molécula entre choque y choque habrá de ser excesivamente diminuta. Pero, si la rarefaccion se exagera hasta un extremo considerable, se reducirá asombrosamente el número de moléculas restantes en el recipiente, y las probabilidades de sus mútuos choques disminuirán en grado sumo; de donde resultará que la trayectoria libre de cada molécula será, por consiguiente, muy larga, y rectilínea. Como ha dicho el mismo CROOKES, en un recipiente lleno de abejas, éstas no podrán apenas moverse; pero, si en el vaso quedan pocas, ya podrán volar aceleradamente y golpear con gran violencia las paredes que las retienen encerradas.

En una ampolla ovoide se ha llevado el vacío á $^1/_{1\,000\,000}$ de atmósfera: si en su interior se habia antes colocado una cruz de Malta como electrodo positivo, paralela al disco *O*, electrodo negativo de un poderoso carrete de induccion, este disco hará rebotar con velocidad enorme y rectilíneamente las escasas moléculas gaseosas que hácia él se dirijan; pero, en su retroceso, quedarán detenidas las que encuentren con la cruz, mien-

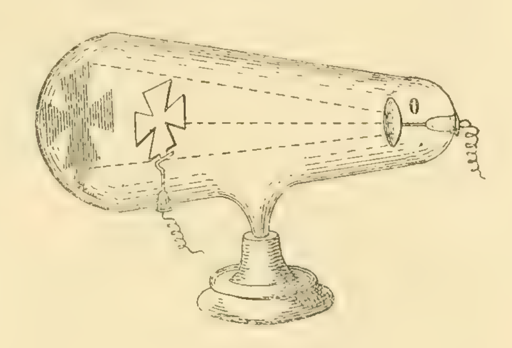



Fig. 91.

tras que las demás, contorneándola, irán á bombardear el vidrio del ovoide, y, con su impacto vigoroso, producirán sobre el vidrio una sorprendente luminosidad, á modo de fosforescencia, dentro de la cual aparecerá como sombra otra cruz de Malta de un tamaño algo mayor, segun corresponde al contorneo de rayos rectilíneos.

Casi todos los tubos de CROOKES están construidos con vidrio blando aleman, y la luminosidad es siempre de un vivo verde amarilloso, cualquiera que sea el gas en ellos tan altamente rarefacto: lo cual prueba que la fosforescencia, se debe al bombardeo de las moléculas, contra el vidrio, rechazadas por el electrodo negativo del carrete de induccion, y no depende de la naturaleza individual propia de cada gas, que, como es sabido, se revela en los tubos de GEISSLER por una coloracion peculiar y característica, propia de cada sustancia y exclusiva de las demás. Con cristal inglés la fosforescencia del bombardeo resulta de color azul, y con cristal de uranio la fosforescencia aparece de un verde-oscuro, muy distinto del vivo verde-amarilloso (*bright apple-green colour*), correspondiente al blando vidrio aleman.

Si en el ovoide se hubiese colocado de canto el plano de la cruz, ó sea perpendicu-

# VIII.

Cohesion: calor: ¿son éstas las solas afecciones que SE MANIFIESTAN en la materia ponderable?

---

larmente al plano del disco que constituye el electrodo negativo, solo se habria notado una fosforescencia general, producida por los impactos moleculares contra el total del vidrio, pero no la aparente sombra de cruz, por no ofrecer el canto obstruccion sensible á las trayectorias de las moléculas despedidas por el electrodo negativo.

Sea ahora un casquete el electrodo negativo: colóquese en el foco una hoja de platino; y el tremendo y convergente bombardeo, contra un solo punto de la hoja, efectuado por las moléculas proyectadas desde el casquete, produce un calor tan increiblemente intenso, que el refractario metal se pone incandescente, y hasta se funde, quedando en el acto el aparato inutilizado, á no suspenderse con celeridad suma el funcionamiento de la bobina de induccion. CROOKES se complace en inutilizar el tubo, fundiendo el platino ante los sorprendidos espectadores, cuando hace en público este experimento sorprendente.



Fig. 92.

Los imanes tienen poder para desviar las trayectorias rectilíneas de las moléculas en los tubos de CROOKES.

Sea un tubo cilíndrico. En él se halla montada delicadamente una ligerísima rueda de paletas. La rueda es de mica y las paletas son de aluminio.

El electrodo negativo es un casquete, cuyo foco se halla próximamente hácia el eje de la rueda: entre ésta y el casquete hay una pequeña pantalla. Cuando funciona el carrete de induccion, la rueda no se mueve, porque la pantalla—interpuesta como una plancha de blindaje—defiende la rueda, del convergente bombardeo molecular. Pero, si se acerca un iman, segun marca la figura, entonces el enjambre de los proyectiles se precipita sobre las paletas superiores, y las pone en movimiento, como un salto de agua una rueda hidráulica de cajones. Otra posicion de los polos del iman puede invertir, é invierte, el flujo molecular, arrojándolo sobre las paletas inferiores, y haciendo girar la rueda en sentido inverso, como un rio á una rueda PONCELET. Para hacer patentes los cambios de sentido de la rotacion de la rueda, hay en la mica pintadas las espirales que se ven en la figura.

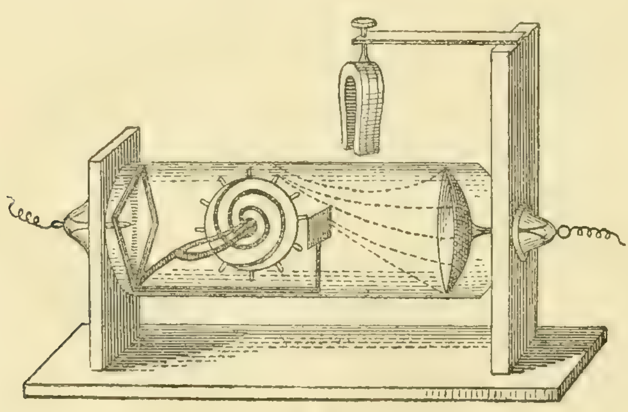


Fig. 93.

Hoy estamos todos familiarizados con los fenómenos de la luz, de la electricidad, del magnetismo y de las acciones químicas, estimados unánimemente por los físicos como modos especiales de movimiento.

Al fin del siglo pasado y principios de éste, hubo verdadero furor científico (permítase la frase) por imaginar tantos fluidos como géneros de fenóme-

---

La gravedad, segun sabemos, convierte en parabólica la trayectoria rectilínea de un proyectil. El iman, pues, de un modo análogo, convierte tambien en curvas las trayectorias rectilíneas de las escasas moléculas que, como RESÍDUO, quedan todavía en los tubos maravillosos de CROOKES, donde el físico juega (así puede asegurarse) con el infinitamente pequeño de la materia ponderable.

Al decir RESÍDUO, no se crea que el número de moléculas remanentes en las ampollas deja de contarse por millones.

La física molecular del vacío Esprengueliano,

1.° Muestra en la viva fosforescencia verde-amarillosa del vidrio blando aleman, el bombardeo contra el mismo vidrio de las moléculas que, todavía en número grandísimo, quedan como potente resíduo dentro de los tubos;

2.° Patentiza la súbita detencion de esas moléculas en la definida proyeccion de espacios no iluminados, que aparecen á la vista como sombras, y que no son, en realidad, otra cosa que carencia de correspondientes impactos contra el vidrio;

3.° La concentracion convergente de esos impactos se evidencia en increible calor;

Y 4.° El desvío magnético, acaso parabólico (?), de las trayectorias rectilíneas, así como la accion mecánica de las moléculas repelidas por el polo negativo de un carrete de induccion, se impone necesariamente al entendimiento en los cambios de sentido producidos á voluntad en convenientes aparatos giratorios.

La experimentacion en manos de CROOKES ha dado razon á BERNOUILLI.

Reducido, pues, por succion pneumática el número de las moléculas existentes en un espacio cerrado, tienen que aparecer y aparecen NUEVAS propiedades de los gases, toda vez que en las comunes y conocidas influye mucho la frecuencia de las colisiones moleculares y consiguiente pequeñez de sus trayectorias libres. Pero, aminorado el número de choques, y ampliada correspondientemente la longitud de esas trayectorias, no es verdaderamente de maravillar que el estado ULTRA-GASEOSO presente propiedades tan distintas del estado comun gaseoso que diariamente se ofrece á nuestra vulgar observacion. Ya el P. SECCHI habia predicho que la actividad molecular se haria más eficaz á medida que aumentase el estado de aislamiento, y que las masas redujesen su densidad.

Estos experimentos dan inmensa probabilidad á la existencia aislada é individual de diminutas moléculas dotadas de enérgicos movimientos rectilíneos, y hacen presumir que muy en breve ha de poder medirse directamente su masa y su velocidad.

Prescindiendo del éter, la materia ponderable no parece, pues, CONTÍNUA. No suponiéndola así; admitiendo que está compuesta de partículas sutilísimas dotadas de energía prodigiosa, se explican, no solamente los hechos de antiguo conocidos, sino tambien los que nuevamente va descubriendo y patentizando la sutil experimentacion de los físicos modernos.

Toda generalizacion debe someterse constantemente á la prueba de lo que, cuando se promulgó, estaba aún encubierto ó enmascarado, ó bien ni aun sospechado era siquiera; y, si, cuando estos fenómenos se descubren, cabe dentro de la antigua generalizacion lo mismo que lo viejo, lo nuevamente descubierto y experimentado, entonces la veterana generalizacion asciende triunfante al puesto de honor de teoría, digna de gran estimacion por el grandioso peso de su probabilidad.

Este cuarto estado ultra-gaseoso, tan diferente en sus efectos del gaseoso comun, como éste del estado líquido, confirma, pues, de un modo sorprendente por la via experimental, lo que muchos ilustres pensadores habian supuesto, partiendo de hechos en modo ninguno tan fehacientes, pero que ahora adquieren mayor respetabilidad.

CLAUSIUS suponia que las velocidades de translacion con que se mueven las moléculas gaseosas es enorme, y diferente para diferen-

nos se descubrian, y en elaborar teorías matemáticas que sostuviesen su fastuosidad por medio de pomposas integrales, que un hecho nuevo hacia descender de su orgulloso pedestal. Así, para la luz habia un fluido luminoso, que recibió el extraño nombre de LUMÍNICO; para el calor un fluido CALÓRICO; para la electricidad otro.....; hasta que el perspicaz genio de GROVE, con su feliz doctrina de la CORRELACION DE LAS FUERZAS, enunciada primeramente en 1843, puso término á tan desdichada abundancia de imaginacion científica.

En efecto, las varias afecciones de la materia que constituyen las principales ramas de la física experimental, tales como el CALOR, la LUZ, la ELECTRICIDAD, el MAGNETISMO, la AFINIDAD QUÍMICA y el MOVIMIENTO, son todas correlativas entre sí, ó tienen una evidente dependencia recíproca, puesto que cada una de ellas puede ser antecedente (directo ó indirecto) de las demás; por manera que (tomando en un sentido muy general las palabras) resulta dable la extraña paradoja de ser todas y cada una de ellas causas y efectos de sí mismas; no precisamente al mismo tiempo, sino en el tiempo, ó sucesivamente.

Cada una, pues, puede producir, no solo afecciones de su misma clase (el MOVIMIENTO es orígen de otros movimientos; el CALOR lo es de calor; el MAGNETISMO de imanaciones, etc.), sino que le es dado generar á cualquiera de las otras ó ser convertida en ellas; de modo que al CALOR le es dado hacer aparecer electricidad, y á la ELECTRICIDAD, calor; al CALOR engendrar movimiento, y al MOVIMIENTO, calor..... etc.

Un ejemplo—en la actualidad comun á muchas grandes poblaciones—es la génesis de la luz eléctrica. La combustion del carbon (afinidad química),

---

tes gases. Segun sus cálculos, las del aire se trasladan con una velocidad media de 485 metros por segundo, y las del hidrógeno con la de 1844; la velocidad de un tren es de 15$^{m}$; la de los últimos proyectiles de ARMSTRONG, de 634: de KRUPP, 651. Calcúlase que el libre trayecto de una de estas moléculas en el estado comun gaseoso es como unas 5000 veces el diámetro de la molécula misma, y que el número de colisiones de una molécula de oxígeno con sus compañeras debe ser de 7 646 000 000 por segundo. Si, pues, el tamaño de una molécula se estima en $^{1}/_{100\,000\,000}$ de milímetro, su libre trayecto deberá ser de $^{1}/_{20\,000}$ de milímetro. Las ondas luminosas del amarillo, de $^{1}/_{2}$ milésima de milímetro, resultan, por tanto, 10 veces más grandes que el tránsito libre de las partículas de los gases. Siempre, siempre, estamos entre dos infinitos: el infinitamente grande de los espacios celestes, y el infinitamente pequeño de los diámetros y distancias moleculares.

DANIEL BERNOUILLI, como antes se ha apuntado, fué el primero que, no solo produjo la idea de que los gases están formados de partículas materiales libres en el espacio, y animadas de rapidísimos movimientos rectilíneos de translacion, sino que consideró la tension de los fluidos elásticos como la compleja resultante del choque de esos corpúsculos contra las paredes de los vasos que los contienen. Tal es el orígen de la teoría cinética de los gases, resucitada en 1824 por HERAPATH, y luego sostenida por JOULE y KRÖNIG, y, al fin, desarrollada, principalmente por CLAUSIUS y CLERK MAXWELL. La ley de MARIOTTE, en la moderna teoría cinética, es naturalmente un simple corolario: en un cilindro la presion contra el piston es la suma de los choques que de las moléculas recibe: si el espacio se reduce á la mitad, recibirá el piston en el mismo tiempo doble número de golpes, etc.

produce vapor dentro de una caldera; el vapor, en máquina adecuada, genera movimiento: éste, haciendo girar carretes metálicos por delante de imanes poderosos, desarrolla electricidad, y la electricidad del arco voltáico, se transforma en sol artificial (cuyo extraordinario calor, si se quisiera, podria á su vez, en mecanismos convenientes, volver á convertirse en movimiento, electricidad, luz.....)

Cuando se electriza fuertemente el sulfato de antimonio, se le hace magnético en ángulo recto á las líneas de la fuerza eléctrica, se le pone caliente, aparece luminoso, se dilata, ó lo que es lo mismo, ostenta movimiento; y, en fin, se descompone, evidenciando que las fuerzas químicas han entrado en accion. Hay, pues, casi simultánea aparicion de todas las afecciones que pueden aparecer y evidenciarse en la materia pesada.

Nada, pues, mas fácil (en el estado de nuestros conocimientos y dominio sobre el mundo físico), que convertir una de estas fuerzas en cualquiera de las demás, mediata ó inmediatamente, en todo ó en parte (1); pues, cuando alguna de ellas no PUEDE PRODUCIR OTRA INMEDIATAMENTE, siempre le es dable hacerlo por el intermedio de la electricidad (2).

La concepcion, pues, de cualquiera de estas afecciones, se relaciona naturalmente con la existencia de las demás: no producimos ELECTRICIDAD DINÁMICA en una sustancia, sin magnetizarla en direccion transversal á la corriente eléctrica: no podemos MAGNETIZARLA sin electrizarla: el CALOR y la LUZ resultan modificando casi siempre juntos nuestra sensibilidad, y LUZ, CALOR, MAGNETISMO, ELECTRICIDAD, son MOVIMIENTO: modos especiales de movimiento. Tales apariciones resultan, pues, mútuamente dependientes: no son en rigor idénticas,

---

(1) Si rodeamos de hielo una máquina de aire caliente, y no permitimos que el piston funcione, el carbon del hogar gastará todo su calor en fundir el hielo: supongamos consumido de este modo:

1 kilógramo de carbon.
y fundidos 100 de hielo.

Pero hagamos funcionar el piston y producir trabajo á la máquina; y, cuando hayamos consumido

otro kilógramo de carbon,

entonces observaremos que el peso del hielo fundido no llega ya á 100 kilógramos, como antes, sino que es menor.

El resto representa la cantidad de calor invertida en el trabajo hecho por la máquina.

(2) Si los átomos (véase más adelante) obedecen á su atraccion mútua y se combinan, el primer efecto de la destruccion de sus velocidades sería la aparicion de la electricidad, y la desaparicion inmediata de la electricidad, resultaria en aparicion de calor: de aquí el que en la combustion no se nos aparezca la electricidad como efecto primero de los choques atómicos, por la rapidez con que desaparece la transformacion térmica ulterior.

(Notable sugestion de CAZIN, *Des forces physiques*.)

pero sí correlativas: no indistinguibles, pero sí transformables las unas en las otras (1).

La energía así, y solo así, no se pierde ni desaparece del universo,

Una bala de cañon da con velocidad tremenda contra el blindaje de un acorazado: el MOVIMIENTO de masa desaparece,—cierto;—pero la ENERGÍA no,

---

(1)

- **Movimiento: produce directamente**
  - Movimiento. — El cual produce otros movimientos: es decir, trabajo de masa sin trabajo molecular apreciable.
  - Calor y luz.. — Compresion. Rozamiento. Percusion.
  - Electricidad. — Máquinas eléctricas antiguas. Máquina de HOLZ, en que el trabajo por medio de la electricidad se convierte en calor. Corrientes de induccion.

  *Nota.* Por medio de la electricidad el movimiento produce indirectamente las demás afecciones: magnetismo. afinidades químicas.

  Y, así, el movimiento puede ser producido por las afecciones que han dimanado de él.

- **Calor: produce directamente**
  - Calor....... — el cual produce calor, sin conversion en movimiento de masa.
  - Luz........
  - Movimiento. — dilataciones. cambios de estado.. (sólido. líquido. gaseoso. (comun. ultra.)) máquina de vapor
  - Electricidad. — pila termo-eléctrica; y por medio de esta las demás afecciones. magnetismo.
  - Afinidad.... — combinaciones..... disociaciones...... químicas.

- **Luz: produce directamente.**
  - Luz........
  - Accion química..... — y por esta indirectamente todos los otros modos de movimiento.

  *Nota.* El siguiente precioso experimento es de GROVE:

  Llénese de agua una caja, uno de cuyos frentes sea de cristal, cubierto por una pantalla móvil:

  Póngase dentro de la caja y frente al cristal una placa daguerrotípica, la cual por un alambre comunique con un galvanómetro:

  Sitúese entre el cristal y la placa un enrejado de alambre de plata, que por otro alambre comunique con un termómetro metálico de BREGUET:

  Comuniquen entre sí por otro alambre el galvanómetro y el termómetro:

  Y, cuando se levante la pantalla y la LUZ penetre en la caja, habrá

  ACCION QUIMICA en la placa,
  ELECTRICIDAD circulando por los alambres,
  MAGNETISMO en el galvanómetro,
  CALOR en el termómetro,
  y MOVIMIENTO en las agujas del galvanómetro y del termómetro.

porque se transforma. La enorme velocidad del proyectil se ha convertido en monstruoso CALOR: el MOVIMIENTO visible y de MASA, es reemplazado por otro MOVIMIENTO MOLECULAR, y que nuestros ojos no pueden discernir. La FUERZA del sol fija con su LUZ el carbono y el hidrógeno en los tejidos de las plantas: ciertamente esa energía solar ha tenido empleo, pero no ha desaparecido del mundo; pues se halla toda en la tierra almacenada en forma de carbon: el MOVIMIENTO invisible de la fijacion del carbono y del hidrógeno, puede, así, convertirse en MOVIMIENTO perceptible de masa, animando cualquier máquina de vapor.....

---

Electricidad: produce directamente............
- Electricidad. electricidad por influencia.
- Movimiento.
  - atracciones.
  - repulsiones.
  - deflexion de las agujas galvanométricas.
  - electro-imanes.
  - máquinas magneto-eléctricas.
- Calor y luz.
  - alambres..
    - incandescentes.
    - fundidos.
  - máquina de HOLZ.
  - chispa eléctrica.
  - arco voltáico.
- magnetismo. electro-imanes.
- afinidad.....
  - análisis.
  - síntesis.

Magnetismo: produce directamente... ............
- Magnetismo.
  - magnetizacion del hierro dulce.
  - magnetismo y diamagnetismo.
- Electricidad.
  - produccion de la electricidad estática en la máquina de RUHMKORFF.
  - (indirectamente, por medio de la electricidad, el magnetismo origina los demás modos de fuerza).
- Modifica todas las otras afecciones.

*Nota.* Para que los imanes produzcan, hay que ponerlos en movimiento. Pero aquí el movimiento no es CAUSANTE, sino CONDICION.

El MAGNETISMO, pues, que puede ser generado por las otras afecciones de la materia, no puede producirlas sin esa condicion del MOVIMIENTO.

Pero puede modificarlas á todas.

Afinidad química: produce directamente...........
- Afinidad química. dobles descomposiciones.
- Movimiento. cambios moleculares.
  - pólvora.
  - nitroglicerina.
- Calor y luz. combustion y en general combinaciones.
- Electricidad. pila.
  - trabajo molecular gastado, que reproduce las demás energías:
  - electricidad estática:
  - máquina de RUHMKORFF.
- Magnetismo. corrientes de induccion.

*Nota.* Por la afinidad química se establece principalmente la correlacion entre los fenómenos físicos y los vitales.

La energía, pues, cambia de aspecto, de manifestaciones, pero es indestructible; y, por eso, la misma cantidad de fuerza existe en el universo en todo tiempo y para siempre.

La mútua «CONVERTIBILIDAD» de las varias afecciones constituye su «CORRELACION;» y lo «invariable» de su totalidad, en medio de una variabilidad perpétua, constituye el principio de la «CONSERVACION DE LA ENERGÍA.»

Y hé aquí por qué la creencia en la «correlacion» y consiguiente «conservacion de la fuerza,» es una de las generalizaciones más grandiosas de la ciencia moderna, y el principio (evidente casi como un axioma, desde el momento de entenderlo) se impone al entendimiento como una verdad necesaria, para ser, por tanto, BASE DE RAZONAMIENTOS DEDUCTIVOS.

Gracias á los trabajos de MAYER, JOULE, HIRN,—y muchos otros sabios eminentes,—no solo sabemos que hay correlacion entre el movimiento y el calor, sino que conocemos las cantidades en que son equivalentes.

Un gran número de experimentos han dado, como límite y término medio provisional, que el calor capaz de elevar 1 grado centígrado la temperatura de 1 kilógramo de agua á cero grados, es tambien capaz de levantar el peso de 1 kilógramo á la altura de 425 metros.

E, inversamente, 1 peso de 1 kilógramo, si es detenido súbitamente por un obstáculo no elástico en el momento mismo de acabar de caer de 425 metros de altura, producirá el calor necesario para elevar 1 grado centígrado la temperatura de 1 kilógramo de agua á cero grados.

De otro modo:

Una caloría es equivalente á 425 kilográmetros; é, inversamente, 425 kilográmetros, son el equivalente mecánico de 1 caloría (1).

El calor y el trabajo son cantidades equivalentes.

---

(1) Ahora podrá venirse en conocimiento de la enorme fuerza que es preciso comunicar á las moléculas para que salgan del estado sólido y entren en el líquido, y desde este pasen al gaseoso.

1 kilógramo de hielo necesita 79 calorías para convertirse de sólido en líquido, fuerza capaz de levantar una tonelada á la altura de $33^{m},5$, ó 1 kilógramo á $33575^{m}$ ($79 \times 425$).

Las 79 calorías desaparecen como calor termométrico, puesto que el hielo á 0 grados se ha convertido en agua fria tambien á 0°; pero la fuerza no ha desaparecido: está toda almacenada en las moléculas del agua, para que estas venzan la cohesion que las mantenia hechas hielo; y tan es así, que, si el agua volviera á congelarse, reaparecerian las 79 calorías en forma de calor sensible.

Para reducirse á vapor ese mismo kilógramo de agua, estando ya á 100°, serian necesarias 536 calorías, capaces de elevar el peso de 1 kilógramo á $227800^{m}$ de altura. De esta fuerza, 17568 kilográmetros se emplean en contrarrestar el peso de la atmósfera, y 210232 en mantener apartadas las moléculas todo lo necesario para conservarlas en el estado gaseoso. (CAZIN.) Esta fuerza de 536 calorías es colosal: con ella podria levantarse 1 tonelada á vez y media la altura de la gran pirámide de Egipto. 111 gramos de hidrógeno y 889 de oxígeno, producen, cuando al combinarse se precipitan sus partes unas sobre otras, 1000 gramos de agua, desarrollando 3800 calorías, fuerza capaz de llevar 1 kilógramo á 1600000 metros de altura. Considerando cuán diminuta es la masa de

Consumid velocidad sin producir trabajo, y engendrareis calor proporcional.

Haced trabajar á un cuerpo caliente, y el calor desaparecerá; pero el frio será proporcional al trabajo producido: un trabajo muy considerable determinará un frio muy excesivo si el calor no se repone; y, gastadas así, en hacer un gran trabajo, las enormes fuerzas de las moléculas gaseosas, quedarán estas aprisionadas por la cohesion en las posiciones mas fijas de los líquidos ó de los sólidos.

Como la potencia empleada en elevar un peso, resulta permanentemente en él almacenada, y puede recobrarse íntegra en su descenso, del mismo modo, la potencia empleada en dar á las moléculas esas fuerzas colosales que se necesitan para la fusion y la vaporizacion, quedan almacenadas en las moléculas que se hallan en estado líquido ó gaseoso, y pueden ser utilizadas convenientemente. En las estaciones de los ferro-carriles, un par de hombres suele llevar un wagon de un punto á otro; pero sería un error grave imaginar que 2 hombres solamente pueden poner á un wagon cargado en movimiento; no: para sacar al vehículo del estado de reposo, se necesitó que 5 hombres ó 6 lo pusieran en marcha; y, luego que se movió, 2 hombres solamente pueden mantener la velocidad, restituyendo á la masa lo que los rozamientos le van quitando: si el wagon de pronto se parase, encontraríamos en los efectos de su impacto la suma de los esfuerzos que efectuaron los 5 ó los 6 peones que lo sacaron del estado de reposo. Y, como en un wagon que 2 hombres empujan, va escondida (latente ó invisible) la fuerza de 5 hombres ó de 6, y solo se echa de ver la de los 2 que sostienen el movimiento (movimiento que ellos solos no pudieron imprimir), del modo mismo, cuando vemos un líquido, á 15° por ejemplo, solamente se nos hace visible en el termómetro esta temperatura de tan corto número de grados, sin calcular que, puesto que la masa se halla líquida, lleva almacenada en sus moléculas, invisiblemente, la fuerza enorme de 79 calorías (capaces de elevar 1 kilógramo á $33\frac{1}{2}$ kilómetros, ó á un hombre á 3 veces la altura de la gran pirámide de Egipto).

---

las últimas partes materiales, júzguese de lo enorme que debe ser su velocidad para producir con su percusion tremenda, calor tan espantoso.

| | |
|---|---|
| Para fundir 1 kilógramo de hielo á 0°.................. | 79 calorías. |
| Para que ese kilógramo, convertido ya en agua, llegue á 100°....... ............ | 101 calorías. |
| Para que ese agua á 100° se convierta en 1 kilógramo de vapor...................... | 536 calorías. |
| | 716 calorías. |

| | |
|---|---|
| | 716 |
| Y todavía falta agregar el número de calorías invertidas en poner á 0° el kilógramo de hielo, que podemos suponer á muchos grados bajo cero antes de empezar los experimentos.............. | $x$ |
| | $716 + x$ |

Con semejante número de calorías se habria podido elevar 1° C. la temperatura de más de 716 kilógramos de agua helada. O bien elevar una tonelada á más de $300^{m}$.

El principio de la conservacion de la energía es en todo patente. Cuando un cuerpo se enfria, es que calienta á otros, ó que produce trabajo. Si algo se nos figura que desaparece, es porque no vemos en qué se ha transformado. La luz que alumbró las primitivas edades de la tierra, ya no volverá á alumbrarnos, pero gran parte de su fuerza se conserva en las entrañas de la tierra en forma de carbon. El uranolito, que con una velocidad inconcebible, penetra en nuestra atmósfera, pierde en ella toda su velocidad; pero el roce con el aire la convierte en calor, que funde al uranolito. La corriente eléctrica disgrega los compuestos: la fuerza de la pila ha desaparecido; pero en los elementos por ella aislados está toda la energía eléctrica, la cual se recuperará cuando los componentes, ahora aislados, vuelvan á precipitarse los unos sobre los otros.

## X.

No hay, pues, lugar á duda acerca de la convertibilidad recíproca de las afecciones de la materia, ni de que en su esencia son modos especiales de movimiento.

Pero la curiosidad científica no puede quedar satisfecha con tan abstracta nocion, y quiere saber algo más, concreto y determinado.

¿Qué sabemos de esos modos?

Directamente escapan á nuestra sensibilidad.

Pero los físicos modernos, en virtud de un conjunto admirable de trabajos científicos, todos convergentes, han inducido que la luz consiste en vibraciones del éter sutilísimo, y la electricidad en movimientos de translacion del éter mismo. Al propio tiempo suponen que las moléculas de los cuerpos vibran en los sólidos, se agitan y resbalan en los líquidos alrededor unas de otras, y vuelan en los gases, como enjambres de abejas en todas direcciones, segun la imágen de Crookes.

Y ¿qué relaciones existen entre el éter y la materia ponderable?

Tampoco podemos saberlo directamente por el testimonio de nuestros sentidos (1).

---

(1) Los signos son, unos de semejanza y otros no. Un retrato es signo que semeja su original: el modelo de una máquina la semeja. El pabellon nacional representa á la nacion, pero no la semeja. Las palabras luna, *lune*, σελήνη, *Mond*, *moon*..... son indudablemente signos, pero que en nada se parecen á nuestro satélite.

A esta segunda clase pertenecen nuestras sensaciones.

Fuera de nosotros hay movimientos, y en nuestra conciencia existe correspondientemente lo que llamamos sensacion,—fenómeno interno, correlativo sin duda con el externo, pero no de semejanza. Una aguja penetra hácia el interior de mi epidérmis: fuera, movimiento; en mi conciencia, dolor: lo que en mí pasa, no es lo mismo que en la aguja: á la aguja nada le duele. Una campana repica: fuera, vibraciones, es decir, movimiento; en mi conciencia, sensacion de sonido: yo oigo; la campana no oye. Una flor despide menu-

Pero, como no es posible que, estando separadas las moléculas, hagan sentir su accion á distancia sin un intermedio adecuado y suficiente, necesario es concebir que entre ellas existe una sustancia elástica, en un estado tenuísimo de rarefaccion y no sujeta á la gravedad: el ÉTER mismo.

Ciertamente no alcanzan nuestros ojos á ver las moléculas, ni las verán acaso jamás, por ser ellas muchísimo menores que una onda luminosa; del

---

dísimas partículas aromáticas, que bombardean mi membrana pituitaria: fuera, MOVIMIENTO; en mí, SENSACION agradable de olor, en la flor no hay tal agrado.....

A los adelantos de la física moderna se debe la claridad que ha sustituido á las extrañas y nebulosas ideas que los antiguos profesaban acerca de la LUZ y del CALOR. PTOLOMEO y EUCLIDES creian que los rayos visuales partian de nuestros ojos para ir á tocar y palpar ó sentir los objetos—especies de antenas maravillosas, análogas á las de los insectos, pero de una naturaleza hoy—con nuestras ideas—enteramente incomprensible. Para EMPÉDOCLES y DEMÓCRITO la LUZ era una como lluvia de corpúsculos venidos del sol y de los demás objetos luminosos, á estilo de las emanaciones odoríferas que nos revelan la presencia de las flores. Esta doctrina ha llegado casi hasta nuestros dias, sostenida por el gran nombre de NEWTON. Hoy nadie ignora que á vibraciones rapidísimas del éter se atribuye la LUZ, y que el CALOR es un modo análogo de movimiento. Verdaderamente nadie ha visto esas vibraciones, como con los ojos materiales distinguimos las del sonido; pero con los ojos de la inteligencia no podemos negar hoy nuestro asentimiento á la teoría de la undulacion. Tambien, pues, en este caso—como en el de los demás sentidos—las sensaciones luminosas y las caloríficas son signos de MOVIMIENTOS en lo exterior, pero no de semejanza, aunque sí CORRELATIVOS, por supuesto, con las minutísimas excursiones del éter.

Estas excursiones luminosas se han medido por varios métodos con pasmosa exactitud. Hoy existe un concierto armónico y concordante de todas estas mediciones, y ellas demuestran, en cuanto la MÁS ALTA PROBABILIDAD se confunde con la VERDAD, que existen esas undulaciones de una pasmosa pequeñez. La probabilidad es, pues, inmensa; pero los hombres de la ciencia actual se guardan muy bien de asegurar que la undulacion es una *vera causa;* y hay gran diferencia entre una hipótesis tenida por verdad, y la admitida solo por ser suficiente, en grado sumo, á explicar los fenómenos observados, á lo ménos en la actualidad.

Hé aquí los números clásicos, determinados por FRESNEL, acerca de la pequeñez de las ondas luminosas:

| | | |
|---|---|---|
| Para el violeta | = 423 | millonésimas de mil. |
| índigo | = 449 | » |
| azul | = 475 | » |
| verde | = 512 | » |
| amarillo | = 551 | » |
| naranjado | = 583 | » |
| rojo | = 620 | » |

Para los rayos de CALOR (más acá del rojo, y que son invisibles) estas excursiones tienen mayor amplitud todavía. Para los ultra-violetas (invisibles tambien) las excursiones son mucho menores que

0,000423 de milímetro.

9229 $^1/_2$ longitudes de las del extremo violeta, colocadas á continuacion unas de otras, formarian 1 milímetro; y, suponiendo $= \frac{1}{10}$ de milímetro el grueso de 1 cabello, resulta que en el diámetro de 1 hebra capilar caben 922,95 longitudes de onda ultra-violeta: del extremo rojo solo cabrian 161,57 (!). (*)

Las artes pueden realizar dimensiones tan diminutas. NOBERT, constructor aleman, grababa rayas en el vidrio á distancias no mayores que una longitud de onda. FROMENT solia dividir el milímetro en 1000 partes, tan perfectamente iguales que, bajo el microscopio, aparecian como las comunes de un metro dividido en centímetros.

Como la luz camina próximamente 77000

---

(*) Algunos físicos (Bessel's Populäre Vorlesungen, pag. 322) dan al cabello la quince-ava parte de 1 milímetro.

mismo modo que nuestros dedos jamás podrán palparlas; pero en la vision intelectual se nos representan los cuerpos (segun la feliz representacion del P. Secchi) como mallas ó redes diminutas, á través de las cuales pasa el éter, de modo análogo á como pasa el aire atmosférico á través de las redes perceptibles de nuestros pescadores. Y, así como el viento no puede avanzar por entre las redes perceptibles sin agitarlas y conmoverlas, ó, convertido acaso en hu-

leguas de 4000 metros por segundo, si designamos por $n$ el numerador de uno cualquiera de los quebrados anteriores, tendremos

Número de vibraciones que entran en el ojo cada segundo.. $\dfrac{77000 \times 4000 \times 1000 \times 1000\,000}{n}$

De donde se deduce que el número de vibraciones es próximamente durante 1 segundo de tiempo,

| | | |
|---|---|---|
| para el | violeta | = 728 000 000 000 000 |
| | índigo | = 686 000 000 000 000 |
| | azul | = 648 000 000 000 000 |
| | verde | = 601 000 000 000 000 |
| | amarillo | = 559 000 000 000 000 |
| | naranjado | = 528 000 000 000 000 |
| | rojo | = 497 000 000 000 000 |

Así, cuando 497 billones de choques, ó tremores de vibracion, impresionan por segundo nuestra retina, decimos que vemos rojo; cuando 528 billones, amarillo..... etc.

Los anteriores guarismos están sujetos á modificacion, segun el número que se adopte para la velocidad de la luz. Struve dedujo de la aberracion de las estrellas una velocidad de 77 000 leguas métricas, ó sea 308 000 kilómetros por segundo. Roemer la calculó algo mayor por sus observaciones del primer satélite de Júpiter. Foucault, de los experimentos con sus espejos giratorios, computó 74 500 leguas = 298 000 kilómetros. Fizeau asignó 78 800 = 315 200 por el método de la interceptacion por ruedas dentadas. Y, últimamente, Cornu, con el mismo método, 300 330 en el aire y 300 400 en el espacio; y Albert Nicholson, por el de Foucault, 300 143. Puede, pues, tomarse como muy próximo á la verdad el número redondo 300 000.

La luz y el calor parecen en esencia lo mismo; pero, no bien el número de las vibraciones baja de 400 billones por segundo, ya no vemos, y, sin embargo, las sentimos en esa forma especial de modificacion de nuestra sensibilidad, que llamamos calor. Tambien dejamos de ver cuando las vibraciones exceden de 800 billones por segundo; y sin embargo, percibimos los efectos de los rayos ultra-violetas en las impresiones fotográficas, etc.

El límite, pues, de nuestras sensaciones luminosas, es decir, el término de nuestra visibilidad no es en modo alguno el término de las vibraciones del éter. Más allá de 900 billones y más acá de 400 por segundo, acaba nuestra facultad de ver: como más allá de 70 000 vibraciones aéreas y más acá de 30 por segundo acaba nuestra facultad de oir. Pero, para el caso del oido, tenemos un gran auxiliar en los ojos, que pueden percibir fácilmente el tremor de una varilla ó de una cuerda que ejecute ménos de 30 vibraciones cada segundo, mudas del todo para nuestro órgano auditivo. Mas, tratándose de la luz y del calor, solamente podemos acudir á los micrómetros admirables inventados en estos últimos tiempos por los genios gloriosos de la física moderna.

La oscuridad no es, por tanto, reposo, como creia Descartes. El reposo etéreo no es ni siquiera concebible. La filosofía de las apariencias nos hace formar el exterior á imágen y semejanza de nuestro interior. Estamos en tinieblas, cuando cesa la aptitud de nuestros ojos á percibir vibraciones, por más que el número de éstas llegue todavía á 1000 billones en el caso de las acciones químicas, ó descienda á 65 billones solamente (!), como en casos extremos inferiores de la calor oscura. La cal viva, al apagarse, da un calor de 100°, que no se ve. En tales límites se hacen invisibles esos prodigiosos números de vibraciones etéreas, cuya existencia nos consta, sin embargo, como nos consta que existen cuando pasan de 70000 las del aire, sordas para nuestros oidos.

racan, sin destrozarlas del todo y diseminarlas en fragmentos, hechas trizas; ó bien, inversamente, así como no podemos agitar una red ponderable en la atmósfera más tranquila sin conmoverla y convertirla en viento más ó ménos bonancible, más ó ménos fresco, más ó ménos tempestuoso... del mismo modo—ó, más bien, análogamente — no puede el éter ponerse en movimiento sin agitar las mallas moleculares pesadas; ó bien, dada una gran intensidad, sin destrozarlas, disgregarlas y esparcirlas con la violencia del rayo; ni, inversamente, la materia ponderable puede poner en movimiento sus groseras mallas moleculares, sin que á sus movimientos correspondan, correlativamente, excursiones especiales en el éter sutilísimo.

No: no vemos el éter ni lo veremos jamás; pero admitamos la hipótesis de su existencia, y dotémosle de movimientos, unos vibratorios (transversalmente á la propagacion para explicar la luz), otros de translacion (en forma de corrientes para explicar la electricidad), y entonces los fenómenos que sentimos, como luz, electricidad, magnetismo...., etc., han de encontrarse explicados (para que la hipótesis subsista) de tal modo que, cual comprobante de la suposicion, quepa dentro de ella cuanta traduccion hagamos de las modificaciones internas en que esos movimientos externos del éter se revelen á nuestra inteligencia: modificaciones que empiezan todas y terminan en una modificacion especial de nuestra sensibilidad, la cual, por desdicha de nuestra imperfeccion sensible, es siempre signo oscuro y deficiente de la objetividad de los séres con los cuales nos es dado ponernos en comunicacion. ¿Qué extraño, pues, que nuestros conocimientos, aun aquellos en que más fe ponemos, sean allá en su fondo eminentemente conjeturales? Lo que llamamos CERTEZA, es solamente una

---

Por otra parte, en nuestros juicios influye potentemente el estado de nuestros órganos. Si, acabada de sacar una mano de agua helada, y otra de agua lo más caliente que podamos resistir, las introducimos de golpe y á la vez en agua comun á la temperatura ambiente de primavera, el agua comun nos parecerá por la mano fria muy calorosa y muy fresca por la mano calentada. ¿No es óbvio que, á falta de aptitud en nuestros ojos, es por lo que no discernimos lo elevado de la temperatura en la pálida llama del hidrógeno cuando se combina con el aire, ni en la brillante luz que emite cuando en esa llama colocamos una espiral de alambre de platino, lo que en nada cambia la temperatura? Deficiencia en nuestros órganos evidencian, pues, estos fenómenos, que algun dia no presentarán dificultad ninguna á nuestro entendimiento, y serán perfectamente inteligibles aun para aquel que jamás haya visto la luz.

Nuestras sensaciones, pues, son signos, pero no de semejanza, sino de correspondiente correlacion, y esto no siempre. Fuera, MOVIMIENTO; en nuestro interior, AFECCIONES DE LA SENSIBILIDAD: lo que pasa en nosotros, no es lo que ocurre en el exterior; y, no porque en nosotros no exista modificacion de ninguna clase nos hallamos autorizados para sostener que en el exterior están muertas las energías naturales. Al contrario, precisamente cuando es mayor el número de vibraciones del aire, es cuando cesamos de oir, y cuando llegan á 800 billones las del éter, cesamos de ver.

La filosofía de las apariencias no tiene hoy valer ninguno. Ya nadie está justificado en decir SIENTO, luego ES COMO SIENTO: NO SIENTO, luego NO ES.

¡Quién sabe si hasta la EXTENSION no es lo que aparece al entendimiento (no ya á la sensibilidad!)

altísima PROBABILIDAD que, por enorme suma convergente de hechos y de leyes en favor de una teoría, esclaviza nuestro asentimiento, de un modo muy semejante á como lo subyugaria lo que llamamos CERTEZA EN ABSOLUTO.

## XI.

MATERIA: CALOR, ó sea vibracion de las moléculas materiales en los sólidos y translaciones más ó ménos libres en los líquidos y gases;

ÉTER: VIBRACIONES de esta tenuísima sustancia en forma de luz; MOVIMIENTOS DE TRANSLACION del éter mismo como corrientes, esencia de la electricidad;

INFLUENCIA RECIPROCA entre la Materia ponderable y la etérea.....

¿No sabemos algo más que esto?

¿Qué es la AFINIDAD QUÍMICA? O, por lo ménos, ¿qué imaginamos de ella? Las opiniones sobre tan abstrusa materia están actualmente en conflicto, como cuando empezaron á plantearse los grandes problemas de la afinidad. Sin razon muchas veces, la prueba de que un fenómeno ES, se ha confundido con su PORQUÉ; la LEY ó la REGLA de su aparicion, con la CAUSA eficiente del efecto: lo CORRELATIVO y subsiguiente con la idea de CAUSACION (1).

El entendimiento se ha encontrado con séries de hechos oscurísimos, á los cuales ha impuesto un nombre; y ha llenado el abismo entre antecedente y consiguiente con hipótesis atrevidas, especies de viaductos elevados que le han servido para pasar del uno al otro, pero sin pisar jamás el fondo del abismo..... ¿Qué hay en ese fondo? Lo ignoramos: tanta es su profundidad, que la vista no llega hasta su fondo.

Como nunca, al entrar en las regiones de la AFINIDAD QUÍMICA, nos hallamos en el país de lo conjetural.

## XII.

Las moléculas del agua en sus tres estados sólido, líquido y gaseoso, son idénticas á sí mismas: solo varian sus distancias, y su libertad de movimiento. Son sistemas estables, no sujetos á disgregaciones por ningun medio mecánico. Si una sal se disuelve en agua, volvemos á encontrar la sal evaporando el agua. Si el platino absorbe hidrógeno, el hidrógeno reaparece calentando el platino en el vacío: el hidrógeno y el platino estaban solamente adheridos, como agua en una esponja. De una mezcla perfecta de finísimo polvo

---

(1) La PRUEBA no es la CAUSA; hay abuso de lenguaje al decir: la geometría manifiesta el PORQUÉ los 3 ángulos de un triángulo valen 2 rectos.

LEY no es tampoco CAUSA: está mal dicho: el principio de ARQUÍMEDES explica el POR QUÉ los acorazados de hierro no se hunden. El principio de ARQUÍMEDES es solo una regla.

CORRELACION tampoco es CAUSA; no es lógico decir: hay electricidad PORQUE froté. Una cosa puede ser TRAS y no POR otra.

de hierro y de azufre, puede un iman separar el hierro fácilmente: un poco de agua suspende el azufre y deja ir al fondo el metal.

Las moléculas en estos casos se juntan, se adhieren, se conglutinan, se empastan, se pegan, se cementan, se mojan..... más, en su junta, conservan sus caractéres individuales y distintivos.

Pero existe otra clase de asociacion más íntima, más próxima, más compacta, en la cual todos los caractéres individuales y distintivos de los elementos asociados desaparecen por completo; y, en vez de 2 cuerpos ligados y adheridos, pero que en la union conservan aún su individualidad, se tiene un tercero sin ninguna de las cualidades físicas componentes, exceptuado el peso del compuesto, que resulta igual á los pesos de los elementos asociados.

Calentemos la mezcla de finísimo polvo de azufre y limaduras impalpables de hierro, y se efectuará cambio tan íntimo y esencial, que el hierro y el azufre desaparecerán enteramente para formar un tercer cuerpo,—el sulfuro de hierro,—en el cual no encontraremos ya ninguna de las propiedades de las sustancias componentes.

Pongamos 100 gramos de mercurio en presencia de 35,50 de cloro, y los dos cuerpos se unirán para formar otro tercero, de enteramente distintas propiedades: el sublimado corrosivo. Coloquemos en una solucion de este sublimado $31^{gr},75$ de cobre, y el cloro abandonará el mercurio (que reaparecerá en forma metálica) y se unirá al cobre para formar un nuevo cuerpo,—el cloruro de cobre;—el cual, por supuesto, no tiene ya del cobre ni del cloro más que el peso de los dos ($35,50 + 31,75 = 67^{gr},25$).

Disolvamos este cloruro cúprico, y en el líquido coloquemos 33 gramos de zinc: el cloro no solo abandonará el cobre (que se precipitará), sino que se incorporará con el zinc, formando otro cuerpo nuevo—el cloruro de zinc,—que ya no es cloro ni zinc: solo resulta igual al peso de los componentes cloro y zinc el peso del compuesto ($35,50 + 33 = 68,50$).....

Esta preferencia con que unas sustancias se asocian é incorporan con otras en proporciones ponderales definidas, abandonando, si es preciso, otros compuestos, ha recibido la demasiado antropográfica denominacion de afinidad, ó de atraccion electiva: atraccion de nuevo género (1), distinta de la newtoniana

---

(1) La atraccion puede considerarse dividida:

A distancias infinitesimales en:
- afinidad química.
- cristalizacion.
- capilaridad.
- adhesion............. { entre sustancias hetereogéneas.
- cohesion. ............ { entre sustancias homogéneas.
- viscosidad.

A distancias finitas en..........:
- gravitacion universal.
- eléctrica.
- magnética.

y de la cohesiva, y con la cual se ha designado esa fuerza especial y escondidísima con que las últimas partes de ciertas materias, cuando se hallan á pequeñísimas distancias, se precipitan unas sobre otras para formar cuerpos, distintos en propiedades, de las sustancias existentes antes de formar la nueva combinacion,—exceptuada la suma de los pesos.

## XIII.

Sobre el éter no tenemos medios de análisis. Pero la química nos da poder para descomponer la mayor parte de los cuerpos pesados; pues solo un corto número de sustancias sometidas á la accion de todas las fuerzas físicas y químicas, no se deja excindir, ó resiste (por lo menos hasta ahora) á todos nuestros medios actuales de separacion, sin que jamás sea posible sacar de esas sustancias otros elementos diferentes.

Estos cuerpos indescomponibles se llaman ELEMENTOS. Y el nombre de compuestos se aplica á todos los demás que no se dejan excindir.

¿Es que no hay unidad en la materia ponderable?

Los químicos tienen muy buen cuidado en enseñar que las sustancias hoy por hoy consideradas como simples, no son necesariamente cuerpos indescomponibles, sino meramente masas que la ciencia actual es incapaz de descomponer, ó, más bien, que no tiene razon directa especial ni imprescindible para mirar hoy como compuestas (1).

## XIV.

La química nos ofrece un gran número de hechos sujetos á leyes perfectamente comprobadas:

1.° Ciertos elementos en apropiadas circunstancias, siempre se incorporan, asocian—ó combinan;—otros no (2);

2.° Los cuerpos no se combinan sino en proporciones de pesos definidas (3).

---

(1) ¿Es elemento el cloro?

(2) El hidrógeno se asocia siempre con el oxígeno, dadas ciertas condiciones: el hidrógeno jamás con el potasio: un cuerpo, cuando es puro, contiene siempre las mismas proporciones de sus constituyentes.

(3) Así, el agua está invariablemente formada por

1 parte en peso de hidrógeno,
8 partes en peso de oxígeno.

Así, el ácido carbónico lo está por

6 partes en peso de carbono,
16 partes en peso de oxígeno, etc.

Todas las combinaciones conocidas manifiestan que las relaciones ponderales en que se unen los cuerpos, son invariables para cada combinacion.

Siempre 1 volúmen de nitrógeno se combina con 3 de hidrógeno para formar amoniaco. Si se pone más de lo necesario, el exceso no entra en la combinacion: por ejemplo, de 2 volúmenes de nitrógeno y 3 de hidrógeno, resulta el mismo amoniaco que antes, pero sobra el volúmen de nitrógeno que se puso inútilmente de más.

3.° Descompuesta una combinacion, siempre reaparecen los primitivos elementos en sus mismas proporciones ponderales (1);

Por tanto, nunca hay pérdida de sustancia; la materia, lo mismo que la fuerza, es transformable, pero no destructible;

4.° Cuando un elemento se combina con otro en varias proporciones, cada proporcion da un cuerpo distinto; y, en todo caso, las más altas proporciones son múltiplos exactos del peso de la proporcion más baja (2);

5.° Las sustancias *A*, *B*, *C*, *D*..... que se combinan con otra *P* ó *Q*, si se combinan entre sí, lo hacen en las mismas proporciones en que se combinan con *P* ó con *Q*;

Por lo cual, no bien averiguamos la cantidad en peso exactamente en que un elemento nuevo se combina con uno cualquiera de los ya de antiguo conocidos, podemos asegurar que en la misma cantidad se une con todos los demás que tengan afinidad por él;

6.° Los cuerpos tienden, cuando se combinan, á la formacion de aquel compuesto en que se desarrolla mayor cantidad de calor;

7.° El gas resultante de una combinacion de otros, ocupa siempre dos veces el volúmen del hidrógeno (tomado como unidad) (3);

---

(1) Descompuesto el gas amoniaco, siempre resultan 3 volúmenes de hidrógeno por 1 de nitrógeno.

(2) Así el nitrógeno forma con el oxígeno 5 compuestos:

14 de nitrógeno y 8 de oxígeno : protóxido de nitrógeno.
14 de nitrógeno y 16 de oxígeno ; bióxido de nitrógeno,
14 de nitrógeno y 24 de oxígeno : ácido nitroso anhidro.
14 de nitrógeno y 32 de oxígeno ; peróxido de nitrógeno.
14 de nitrógeno y 40 de oxígeno : ácido nítrico anhidro.

(3) Un conjunto imponente de hechos perfectamente comprobados, sirve de apoyo á la ley de Avogadro, que se enuncia así:

A igualdad de presion y temperatura, volúmenes iguales de gases contienen igual número de moléculas.

Esta ley es acaso la de más importantes consecuencias en la química: nadie *à priori* hubiera podido imaginarla.

Si un volúmen de gas *A* se combina con otro volúmen igual de otro gas *B*, ó bien con 2 de *C*, ó con 3 de *D*, siempre la molécula gaseosa producto de la combinacion, ocupa constantemente 2 volúmenes.

Recuérdense como auxilio de la memoria los muy conocidos ejemplos siguientes:

1 volúmen de cloro, combinado con
1 devolúmen , hidrógeno, forman
---
2 volúmenes de ácido clorhídrico.

Esto parece muy natural, pero ya no lo parece, que

2 volúmenes de hidrógeno combinados con
1 volúmen de oxígeno, formen
---
2 volúmenes de vapor de agua.

2 volúmenes de nitrógeno, +
1 volúmen de oxígeno.
---
2 volúmenes de protóxido de nitrógeno.

1 volúmen de nitrógeno, +
3 volúmenes de hidrógeno,

2 volúmenes de gas amoniaco.

De donde se deduce que, si todos los gases ocupan dos veces el volúmen del hidrógeno, siempre en un mismo recipiente cabrá el mismo número de moléculas gaseosas (se entiende á igualdad de presion y temperatura);

8.° Iguales volúmenes de gases diferentes, aunque contienen el mismo número de moléculas, no pesan lo mismo;

De donde se infiere que las partes minutísimas de la materia ponderable tienen pesos diferentes en los diferentes elementos (1);

9.° Las cantidades de materia en el estado sólido cuando tienen el peso justamente en que se asocian, incorporan—ó combinan—necesitan el mismo calor para elevar su temperatura un grado centígrado (2).

Estas leyes importantes (y acaso con mayor especialidad la de la contraccion de los gases á solos 2 volúmenes) han necesitado para su explicacion nuevas teorías: las concernientes á los átomos (3): viaducto arrogante puesto por el Génio de las Hipótesis sobre el más insondable de los abismos.

---

(1) Si un elemento de hidrógeno pesa 1
entonces un elemento de oxígeno pesa 16
y un elemento de nitrógeno pesa 14
y un elemento de cloro pesa 35,5

Como estos números representan los pesos de volúmenes iguales, claro es que representan tambien los pesos específicos comparados con el hidrógeno,—tomado como módulo ó unidad.

De donde resulta una induccion importante. Si dos volúmenes iguales de gases diferentes contienen el mismo número de moléculas, y si el primer volúmen pesa $P$ y el segundo pesa $P'$, la relacion $\frac{P}{P'}$ en que están los conjuntos, será tambien la relacion de una sola molécula del primer gas á otra sola molécula del segundo: de manera que los pesos moleculares son entre sí como los pesos de iguales volúmenes de diferentes gases á la misma presion y temperatura.

(2) 100 gramos de mercurio, 31,75 de cobre, 33 de zinc, etc., elevan respectivamente su temperatura el mismo número de grados con el mismo calor. Esta ley (de Dulong y Petit) se expresa así:

Los elementos de los cuerpos simples sólidos tienen sensiblemente el mismo calor específico.

Esta ley no es exacta; es solamente aproximada, y de ella se exceptúan, muy notablemente por cierto, el carbono, el boro y el silicio.

(3) La hipótesis atomística ostenta respetable antigüedad. Ya en la India se encuentra la idea. *(Engl. Cyclop.)* Moschus, filósofo que vivia antes de la guerra de Troya, parece haber iniciado primeramente esta nocion en el mundo griego. *(Engl. Cyclop.)* Leucipo, filósofo de Abdera, en Tracia (ó de la isla de Melos), discípulo de Zenon y maestro de Demócrito, la expuso como 428 años antes de J. C. Demócrito, filósofo de Abdera (ó de Mileto), la aceptó para su Cosmología (nació en 460 antes de J. C., y murió á los 104 años, en 357: gastó en viajes su fortuna; y tanta era su asiduidad en el estudio, que llegó á decirse se habia hecho sacar los ojos porque le distraian en sus meditaciones). Epicuro (de Samos, nació 341 antes de J. C.: murió en 270: amigo de tantos amigos, que ciudades enteras no podian contenerlos, filósofo de eximia abstinencia y castidad) la popularizó en cuerpo de doctrina, por lo cual la filosofía atomística recibió el dictado de epicúrea. Por último, Lucrecio (cuya majestad y grandilocuencia de lenguaje no ha superado ningun poeta latino) cantó y expuso este sistema en los tres primeros libros del famoso poema *De rerum Natura.*

Demócrito profesaba que algo no sale de nada, ni algo puede ser nada, y que el universo, por tanto, es eterno. La materia es reducible á partículas, que no pueden dividirse, átomos, semejantes en forma. El entendimiento consiste en átomos redondos de fuego. La diferencia de sustancias depende de la na-

Si las moléculas fuesen las partes más diminutas de los cuerpos, ¿cómo tres volúmenes (y más aún) de 2 gases elementales, podrian, despues de su combinacion, quedar reducidas á solos dos volúmenes? ¿Cómo concebir ni explicar esa compenetrabilidad, siendo insecables las moléculas?

Pero, si las moléculas no fuesen las últimas individualidades de la materia ponderable, sino conjuntos de otros componentes más ténues y diminutos todavía, mantenidos á distancia por fuerzas muy enérgicas, entonces sería ya posible concebir esa como constante compenetracion hasta solos dos volúmenes, admitiendo que, en la combinacion gaseosa, conforme á leyes no descubiertas aún, se habian reducido extraordinariamente las primitivas distancias á que se hallaban los átomos en las moléculas gaseosas.

Y,—si las moléculas son agregados de átomos,—de la varia disposicion y arreglo de estos átomos deberán resultar figuras diferentes; y las formas cristalinas, la alotropia y el isomerismo podrán recibir una como explicacion geométrica, con tal de que las formas que atribuyamos á los conjuntos atómicos no estén en contradiccion con leyes observadas (1).

---

turaleza y colocacion de los átomos; y la diferencia de los fenómenos depende de la diferencia de sus movimientos, progresivos, egresivos, rectilíneos y circulares.

Segun Epicuro, los átomos son perfectamente sólidos, indivisibles, pesados, infinitesimales, infinitos en número, y eternos. Tienen formas varias: los hay redondos, cuadrados, dentados, barbudos, etc. Todos los cuerpos contienen átomos de más de una figura, y, al caer, se enredan unos con otros y forman conjuntos más ó ménos densos. En el principio, antes de la formacion del universo, durante el caos, los átomos flotaban en la inmensidad del vacío. Pero despues se combinaron átomos y espacio (*corpus et inane*), y resultaron los cuerpos; y así la parte sólida de éstos es materia, y los poros espacio. El mundo está formado por el concurso fortuito de los átomos; y, cuando el mundo se destruya, nuevos mundos resultarán de nuevas combinaciones atómicas, porque los átomos son eternos é indestructibles, lo mismo que el espacio. La filosofía atomística, pues, pretendia explicarlo todo, partiendo de la indivisibilidad de individualidades dotadas de gravedad y movimiento, combinadas (?) con el espacio.

En la época moderna, despues que Dalton, de Manchester, en su *New system of chemical philosophie* (1808), hubo expuesto las leyes que llevan su nombre; y luego que,—espíritu altamente científico,—para explicarlas por una concepcion teórica, propuso la doctrina de los átomos tal como ahora se admite, reaparecieron las antiguas controversias—puramente metafísicas,—que en otros tiempos ejercitaron á los filósofos. Los metafísicos decian: ningun compuesto puede existir sino por union de lo que es simple, es decir, capaz de composicion, pero no compuesto: luego por necesidad existe el átomo. Pero los geómetras contestaban: los cuerpos son extensos, y la extension es siempre divisible hasta el infinito: luego vuestro átomo, es decir, lo que si fuera indivisible no sería extenso, es un puro ente de razon, sin realidad objetiva.

(1) Las cristalizaciones presentan cuerpos de formas determinadas y dimensiones definidas. Estas dimensiones definidas se suponen tambien existentes en las últimas partes de los cristales, que por su juxtaposicion los constituyen; y, así, cuando la forma fundamental de una cristalizacion es dos veces más larga que ancha, se estima que lo mismo sucede en las moléculas constituyentes. Por esto se piensa que las moléculas de un cristal cúbico deben tener iguales sus tres dimensiones

Supongamos, pues, constituidas de átomos, más diminutos todavía que cuanto cabe imaginar, animados de movimientos velocísimos, y dotados de pesos diferentes en las diferentes sustancias, todas las moléculas de los cuerpos sólidos, líquidos ó gaseosos, tanto las de los elementales como las de los compuestos, y entonces podrá explicarse con relativa claridad y satisfactoriamente (1) dentro de la teoría:

El porqué los cuerpos no pierden materia cuando se juntan, combinándose:

El porqué cuando los compuestos se excinden, el conjunto de los ya separados componentes pesa lo mismo que pesaba el compuesto de que formaron parte:

El porqué los cuerpos se combinan en proporciones ponderales fijas y que jamás varían, obedeciendo á la ley de las proporciones múltiples y equivalentes entre sí (pues es claro que un átomo podrá juxtaponerse á otro, ó á otros dos, ó á otros tres ó á más, pero no á $^1/_2$ átomo, ni á $^1/_3$, ni á fraccion ninguna; lo que con toda probabilidad sucederia á ser el átomo susceptible de division):

El porqué iguales números de átomos de una misma sustancia, y colocados del mismo modo, darán siempre moléculas iguales entre sí, pero colocados en otra disposicion y en otro órden producirán moléculas con distintas propiedades:

El porqué los efectos serán distintos en el caso de una cierta ordenacion molecular que en el de otra de una misma sustancia; como el mismo número de caballos, tirando unas veces en cierta direccion y otras veces en otra, producen resultantes distintas en sentido é intensidad (2):

---

las de un cristal prismático de base cuadrada, han de tener más corta ó más larga una dimension que las otras dos, etc. La más sencilla—y más probable—hipótesis es la de que las moléculas son esféricas en los cristales monométricos, y elipsoides de ejes diferentes en las otras formas cristalográficas. (DANA.)

Como se ve, este conjunto de suposiciones manifiesta una gran penuria científica.

(1) ἄτομοσ, compuesto de ἀ y τέμνειν, cortar. no cortado, indivisible, insecable.

No hay dificultad en admitir que las moléculas estén formadas por partes más pequeñas, es decir, que sean compuestas; como no hay inconveniente en considerar constituidos á los cuerpos por partículas diminutísimas. La dificultad está en suponer que los átomos—conforme á su etimología—son indivisibles; porque, si son extensos, han de ser divisibles, y ya no son tales átomos; y, si son inextensos, ¿cómo con ellos se constituye la extension?

Esta doble dificultad no es esencialmente metafísica: y es la meta en que se estrellan todas las teorías atomísticas.

(2) Tal vez nuestras sensaciones son signos correlativos, no solo de los movimientos moleculares exteriores, sino tambien, sin conciencia nuestra, de esa diversidad de resultantes que simultáneamente modifican nuestro sér. El eterno problema filosófico de la EXTERIORIDAD tiene aquí un espacio, inexplorado aún, en que explayarse, DINÁMICAMENTE considerada la cuestion.

The great problem of chemistry is to determine the connection between the structure and the properties of molecules.

MM. PATTISON MUIR.

¿Quién sabe si la extension sea fuera de nosotros el ÓRDEN INVARIABLE con que MUCHAS fuerzas externas modifican á la vez nuestra inteligencia, y LO FATAL Y NECESARIO de esa ordenacion de resultantes sea lo que en nosotros es, correlativamente, PERCEPCION de la extension? Fuera de nuestro sér. ÓRDEN

El porqué las combinaciones químicas van acompañadas de calor y luz; pues si los átomos son corpúsculos que con una velocidad tremenda se precipitan sobre los que los atraen, su enérgico choque se convertirá en calor (y luz); y el calor, así, sería una conversion del movimiento de los átomos, como el de un proyectil que, al perder su velocidad contra el costado de un buque, eleva enormemente su temperatura y la del blindaje que detiene su carrera:

El porqué los calores específicos de los sólidos son proporcionales á los pesos atómicos, sensiblemente: siendo tan exíguas las masas de los átomos, iguales cantidades de energía los han de poner en igualdad de movimiento:

Y el porqué, en fin, los elementos que forman el compuesto para cuya produccion es un máximo el desarrollo del calor, resultan más estables que los demas por ser aquellos en cuyos componentes queda menos energía: correlativo con lo cual es la ley de que para disgregar los compuestos muy estables, se necesita invertir enorme suma de energía (1).

---

FATAL en fuerzas que tienen poder para modificarnos: dentro de nuestro sér, PERCEPCION CORRELATIVA, que se nos aparece con los atributos de PLURALIDAD y CONTIGUIDAD, que son los dos caractéres de la extension.

Siempre que hay extension concebimos *multitud, pluralidad;* pero la pluralidad no es carácter suficiente, porque no siempre que hay pluralidad concebimos extension: á la par de la pluralidad de partes tenemos que concebirlas CONTÍGUAS unas á otras, formando un todo, sin DISCONTINUIDAD. La transmision de la fuerza á distancia es un concepto ininteligible sin la CONTINUIDAD, porque, si no hay un INTER-MEDIO CONTÍNUO entre el punto que se mueve y el punto que es movido, hay que devorar el absurdo de que en la nada puede haber ALGO: MOVIMIENTO. Es preciso admitir ese ALGO REALMENTE CONTÍNUO, *substratum* de las afecciones y movimientos materiales; y ese algo contínuo—sin discontinuidad en parte alguna, porque cesaria de ser contínuo—NECESARIA Y FATALMENTE CONTÍNUO, ¿no podria ser lo que en la realidad correspondiera esencialmente á nuestra percepcion de la extension? ¿Por qué no habia de ser ese enigma que llamamos contigüidad (y que nadie ha logrado explicar todavía) la modificacion que nos causa esa multitud de fuerzas que en la continuidad obra sobre nosotros, simultánea y fatalmente, ligadas entre sí de un modo necesario, y no con independencia unas de otras y en tiempos sucesivos? Un sabor, un olor, un sonido..... no producen siempre el mismo efecto en el mismo hombre, y de cierto lo producen diferente en cada individuo de la especie humana; pero la idea de extension no varía jamás en el mismo hombre, ni tampoco de un hombre á otro, porque la idea de extension es una PERCEPCION, no de un fenómeno fisiológico de nuestro organismo siempre variable, sino la percepcion de un órden invariable en las fuerzas del exterior, fatales y necesarias en su manera de obrar, y por necesidad no discontínuas.

(1) La química entra así más y más en la ciencia general del movimiento. PATTISON, MUIR y MURPHY echan de ménos en las fórmulas químicas la indicacion de las calorías ganadas ó perdidas en las combinaciones y demás fenómenos químicos; y MURPHY propone que, llamando $\theta$ á la unidad de calor, y, representando el símbolo del agua por la expresion $H O^1/_2$, se escriba el resultado de la combinacion

$$H O^1/_2 - 34462\,\theta:$$

porque, en el acto de la combinacion del hidrógeno con el oxígeno, se produjeron 34462 unidades térmicas, que desaparecieron, efectuada la combinacion.

Por lo mismo, y, puesto que se obtienen 1154 unidades térmicas al separar del protóxido de nitrógeno 1 gramo de su componente oxígeno, proponen que dicho compuesto se simbolice

$$N O + 9232\,\theta.$$

Los que admiten la existencia de los átomos, los estiman, pues, como las últimas individualidades minutísimas de las moléculas (1), dotados de energía inconcebible, con formas y pesos constantes para cada elemento, y diferentes de unos á otros. Fuerzas convenientes los acercan y juxtaponen segun formas geométricas; y semejante conjunto, regular, geométrico, y con sus fuerzas en equilibrio más ó ménos estable, es lo que entendemos por molécula. Las moléculas todas son en esta teoría SISTEMAS COMPUESTOS, no solo en los compuestos constituidos por esos elementos, sino en las mismas sustancias elementales, y las distancias moleculares son tan grandes en los gases, que por esto resultan nulas y sin efecto las fuerzas que las compelen las unas hácia las otras (2). Por consideraciones de altísimo peso científico, los químicos profesan que los gases elementales se manifiestan solamente ocupando 2 volúmenes, ó en pare-

---

donde 9232 es = 1154 × 8, equivalente del oxígeno. (Consúltese *Nature*, núm. 508.)

Como se ve, estas atendibles sugestiones requieren aún gran desarrollo.

(1) MARC ANTOINE GAUDIN, en su libro *L'Architecture du Monde des atomes*, no titubea en considerar como probable que la mínima distancia entre los átomos (no entre las moléculas) pueda ser $^{1}/_{100}$ de $^{1}/_{1\,000\,000}$ de milímetro. Una gota de agua entre 7 y 8 milímetros de magnitud pesa, segun GAUDIN, 1 decígramo, y el número de átomos que contiene es el guarismo enloqueciente de 100, seguido de 24 ceros:

100 000 000 000 000 000 000 000 000,

que no hay inteligencia humana capaz de comprender.

THOMSON calcula que, si una gota de agua se magnificase hasta adquirir el tamaño de nuestro globo, las moléculas, correspondientemente amplificadas, tendrian la magnitud de nuestros perdigones de escopeta.

(2) Para mayor dificultad en la inteligencia de esta doctrina, la palabra ÁTOMO suele usarse en muchas acepciones, lo que da lugar á gran confusion. Significa, pues,

1.° Una última é indivisible partícula de materia:

2.° Una última partícula de materia—pero no necesariamente indivisible—(sinónimo en tal caso de molécula);

3.° Una partícula constituyente de la materia—sinónimo de molécula formada de partes subordinadas;

4.° La mínima parte de materia que puede entrar en una combinacion:

5.° Cualquier cosa pequeña y diminuta;

6.° Los corpúsculos flotantes en la atmósfera, motitas leves que solo se ven en un rayo de sol, cuando entra éste en espacio cerrado y relativamente oscuro.

Actualmente suele hacerse distincion entre filosofía atómica y doctrina atómica. La primera expresion se aplica casi exclusivamente á la concepcion epicúrea. Y llámase teoría atómica en la química actual á la doctrina de las proporciones definidas, segun la cual las combinaciones se verifican entre las supuestas últimas partes de la materia, ó sea entre los átomos, conforme á una razon expresable por un número entero, como

1 : 1; 2 : 1; 3 : 1; 4 : 1, etc.

Llámase peso atómico al peso del átomo de un elemento comparado con el de otro con que se combina; y tambien (prescindiendo de toda hipótesis atómica) se llama, sin embargo, peso atómico á la relacion del peso en que un cuerpo se combina, comparado con el hidrógeno (ó el oxígeno) tomado como módulo de comparacion. Así, puesto que 1 gramo de hidrógeno y 8 de oxígeno se combinan para formar 9 gramos de agua, se dice que el peso del átomo del oxígeno es 8 veces el del hidrógeno: siendo sinónimo, en esta acepcion, peso atómico de equivalente químico (ó solo de equivalente). La palabra equivalente tiene sobre la de átomo la gran ventaja de ser expresion de un hecho real, con independencia de la idea hipotética que pueda profesarse sobre las últimas diminutísimas partes de la materia ponderable.

jas de 2 átomos, y suponen que 1 átomo de 1 elemento gaseoso es incapaz de existencia independiente; por lo cual, no bien 1 átomo se disgrega de 1 compuesto químico, si no entra inmediatamente en combinacion con otro elemento de otra sustancia, entra entonces en combinacion con otro elemento de la suya propia, formando así grupos binarios que reciben el nombre de MOLÉCULAS ELEMENTALES:

Hidrógeno libre. = $H + H$; molécula elemental que ocupa 2 volúmenes.
Cloro libre..... = $Cl + Cl$; id. id. id.

De este modo, y segun esto, toda la materia ponderable es compuesta, y todos los elementos compuestos resultan de la combinacion de los últimos átomos de sus partes constituyentes.

Una molécula puede, pues, definirse como la mínima parte de una sustancia poseedora de las propiedades químicas de esa sustancia; y un átomo, como la mínima individualidad de materia elemental, que constituye uno de los componentes que integran la molécula (1).

Los átomos de ciertas sustancias se combinan, pues, con los de otras en virtud de una atraccion especial: la AFINIDAD QUÍMICA.

---

(1) De consiguiente el peso atómico de un elemento es el mínimo peso de ese elemento que entra en (ó sale de) una combinacion, comparado con el peso mínimo de hidrógeno que entra en un compuesto químico, ó sale de él.

De donde:

Si las moléculas de los cuerpos compuestos en el estado gaseoso ocupan 2 veces el volúmen de un átomo de hidrógeno, naturalmente el peso específico de un gas compuesto será la mitad del peso molecular:

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Acido hidroclórico. | $H + Cl$ | $= 1 + 35{,}5$ | $= 36{,}5$; | peso | específico.. | 18,25 |
| Agua............. | $H_2 + O$ | $= 2 + 16$ | $= 18$ | id. | id. | 9 |
| Amoniaco.......... | $H_3 + N$ | $= 3 + 14$ | $= 17$ | id. | id. | 8, 5 |
| Gas oleificante..... | $H_4 + C_2$ | $= 4 + 24$ | $= 28$ | id. | id. | 14 |
| Alcool............. | $C_2 + H_6 + O$ | $= 24 + 6 + 16$ | $= 46$ | id. | id. | 23 |
| Ioduro de etila..... | $C_2 + H_5 + I_3$ | $= 24 + 5 + 127$ | $= 156$ | id. | id. | 78 |

Si el volúmen atómico de un gas elemental es, pues,

$$\frac{\text{peso atómico}}{\text{peso específico}} = 1$$

resulta = 2 el volúmen de un gas compuesto.

En efecto, y como ejemplo,

$$\text{Vol} = \frac{\text{gas oleificante (peso molecular)} = 28}{\text{peso específico} (= 14)} = 2.$$

## XV.

Pero esto no basta todavía.

Para explicar fácil y satisfactoriamente ciertos fenómenos íntimos en las moléculas, es decir, ciertas afecciones de los átomos, es preciso, además, suponer dotados á estos átomos de movimientos rapidísimos de rotacion dentro de la region molecular. Y, si semejante hipótesis fuera una realidad (como apunta el P. Secchi en las más brillantes páginas de su libro *La unidad de las Fuerzas físicas*), acaso una misma mecánica regiria los movimientos de las últimas individualidades invisibles de la materia, que el movimiento armónico de las enormes moles planetarias y estelares.

¡Lo inconcebiblemente pequeño, trasunto de lo grande! ¡Sublime presuncion! Pero ¡lástima grande que el demostrarlo esté tan lejos de nuestros medios presentes!

Los fenómenos de la polarizacion de la luz, del magnetismo y del diamagnetismo, no pueden explicarse sin suponer orientaciones especiales de las moléculas. Si los imanes permanentes fueran en realidad los solenoides de Ampère, y si por la identidad de los efectos nos es lícito deducir que los movimientos invisibles siguen las leyes de los movimientos visibles, aparece indispensable que á cada imanacion se orienten convenientemente las moléculas del hierro dulce, y á cada desimanacion vuelvan las moléculas á su estado primitivo de desorientacion libre. En cuanto pasa la corriente eléctrica por el gran aparato de Faraday, las propiedades de los rayos de la luz varían como si las posiciones moleculares de los cuerpos transparentes hubiesen cambiado: modificaciones que cesan en cuanto la corriente deja de pasar.

La explicacion de tales fenómenos y de otros muchos se ofrece naturalmente, si se admite la existencia de los átomos, y su influencia sobre el éter correspondientemente con sus orientaciones y movimientos de toda clase.

Las colisiones de las moléculas gaseosas hacen que sus átomos vibren, y estas vibraciones, comunicadas al éter (1), producen rayos de luz y todas las

(1) Teniendo el éter y los átomos propiedades comunes, MATERIALIDAD, INERCIA, MOVILIDAD, ELASTICIDAD..... ¿no pudiera profesarse la doctrina de la UNIDAD de la materia?

Prout consideraba á todos los cuerpos como múltiplos del equivalente del hidrógeno. Dumas difiere poco de este modo de ver, pues para el ilustre químico todos los cuerpos simples tienen un peso atómico múltiplo del de un cierto elemento, hasta aquí desconocido, y cuyo equivalente sería $^1/_2$ de el del hidrógeno.

Numerosos ejemplos indubitados existen en química, no solo de que un mismo cuerpo simple puede tener distintas propiedades, como el fósforo, por ejemplo, que en su estado comun es venenoso, y en el amorfo inofensivo, del diamante que es carbon, del ozono que es oxígeno..... sino tambien de compuestos como el espato calizo y la aragonita, ó bien la anatasia, la brookita y el rutilo; cuerpos que, por cristalizar con forma diferente en un caso que en otro, aparecen por lo pronto como de distinta composicion, ostentando

energías radiantes, en razon ignorada, pero correspondiente sin duda á las velocidades de las vibraciones atómicas. Diferentes velocidades de esta vibracion producen rayos de luz de diferente longitud de onda; y, á medida que la densidad de un gas aumenta, las bandas de su espectro se ensanchan, hasta que, finalmente, á un cierto grado de condensacion, el gas viene á presentar un espectro contínuo. El aumento de la densidad acorta el trayecto de la molécula de una colision á otra, las colisiones se hacen más frecuentes, las vibraciones atómicas resultan más y más complejas y entremezcladas, y, al fin, rayos de

---

diferente densidad, ó color, sabor, transparencia, dureza, etc., sin embargo de estar constituidos por idénticos elementos y en las mismas proporciones ponderales (*).

Para el P. SECCHI el estudio de la luz y de la electricidad le hace mirar como infinitamente probable que el éter no sea más que la materia misma en su máximo grado de tenuidad, es decir, en ese estado de rareidad extrema á que se ha dado el nombre de estado atómico, y, que, por consiguiente, los cuerpos no serían en realidad más que aglomerados de esa misma sustancia etérea. Pero el propio P. SECCHI conviene luego en que tal hipótesis no se presenta con el carácter de necesaria, y no ve razon absoluta que se oponga á la existencia de dos ó de muchas más especies de materia, una constitutiva del éter, y otra ú otras integrantes de los cuerpos ponderales.

LOCKYER, últimamente, ha ido más allá: este hombre eminente, apoyándose en 100 000 experimentos espectroscópicos, duda de la integridad de los elementos tal como se entiende regularmente, y supone que todos los cuerpos considerados hasta aquí como elementos, y por consiguiente todas sus combinaciones, son meras modificaciones alotrópicas del hidrógeno. Durante años y años LOCKYER ha estado comparando esmeradamente los espectros de los elementos químicos con el espectro solar y los de otros varios celestes luminares, y los ha estudiado, además, en medios diferentes y bajo distintas condiciones de presion y temperatura.

Ya desde hace 30 años, FARADAY esperaba confiadamente la unificacion de los llamados ELEMENTOS, y siempre los químicos han cuidado de enseñar (como antes se advirtió), que los que ahora se designan como tales, no son necesariamente sustancias simplicísimas.

CIANICIAN ha publicado tambien experimentos coincidentes con los de NORMANN LOCKYER.

La existencia, cada vez más firmemente demostrada, de estados alotrópicos de muchos reputados elementos, inclina fuertemente en favor de esta grandiosa generalizacion que, á resultar correcta (lo que muchos repugnan), constituiria, como la de la unidad de las fuerzas físicas del P. SECCHI, uno de los mayores progresos de este siglo incomparable.

Pero, si bien LOCKYER cree firmemente que, á pesar de los multiformes aspectos del mundo en que vivimos, no hay más que UNA materia elemental, y que este elemento primo se nos presenta en la forma primaria de hidrógeno, del cual están luego compuestas todas las sustancias catalogadas como SIMPLES en los libros de química; sin embargo, hábiles químicos—y de gran importancia,—como ROSCOE, WILLIAMSON, FRANKLAND, GLADSTONE..... opinan que los 100 000 experimentos de LOCKYER solo prueban la presencia de impurezas (?) en los cuerpos elementales, que el experimentador consideraba como químicamente puros.

La hipótesis de la unidad de sustancia ha dado últimamente pié para escribir que ello resucita los *absurdos de los antiguos alquimistas*, haciendo contemplar como realizables los *sueños de la transmutacion* de los metales viles en metales nobles, á virtud de hábiles manipulaciones de laboratorio.

Pero, aun cuando sustancias tan deseme-

---

(*) Las figuras 70 y 71 de los imanes de MAYER, página 242, pueden considerarse como ejemplos ó *Vorstellungen* de alotropia, y las 72 y 73 como fáciles representaciones de isomerismo.

| | | |
|---|---|---|
| Espato calizo; densidad.... | | 2,72 |
| Aragonita.................. | | 2,96 |
| Acido titánico. | Anatasia.. | 3,82 |
| | Brookita.. | 4,02 |
| | Rutilo.... | 4,25 |

todas las longitudes de onda, resultan de las excursiones de los átomos vibrantes.

Las preferencias atómicas solo se manifiestan á distancias increiblemente pequeñas; porque la afinidad química reside en las últimas individualidades de la materia ponderable.

La afinidad es, por tanto, la fuerza de los cambios moleculares, la atraccion que parece inteligente y electiva, residente en los últimos séres de la materia ponderable, en cuya virtud sustancias diferentes (y á veces homogéneas), tienden á unirse y á formar compuestos.

Los compuestos generalmente presentan propiedades muy distintas de las de sus componentes: unas veces los compuestos son muy poco estables, como las sustancias explosivas: otras son estables en extremo, como el agua, cuyos elementos no se disocian sino por un calor muy intenso, ó la gran energía de la electricidad.

La fuerza de la eleccion atómica carece, hoy por hoy, de explicacion. Su concepto está envuelto en la mayor oscuridad; pero la química entera testifica de su existencia. ¿Cómo, si no, átomos $\alpha$ y $\beta$, unidos entre sí en un compuesto $M$, y átomos $\gamma$ y $\delta$, unidos entre sí en otro compuesto $N$, abandonan esas combinaciones para formar otros dos compuestos, nuevos y enteramente desemejantes, $P$ y $Q$, uno constituido por $\alpha$ y $\gamma$, y otro por $\beta$ y $\delta$?

Pero ¿cómo unas veces cede y otras resiste la afinidad química al calor, á la luz, á la electricidad……. etc.?

Nada sabemos: conocemos hechos; no la ley de esa fuerza misteriosa, que nos figuramos como una especie de atraccion, pero que, en el estado actual de nuestros conocimientos, no parece asimilable á la atraccion newtoniana, ni á la cohesion tampoco.

La atraccion newtoniana se extiende á toda la materia: las masas se atraen

---

jantes como el calcio, el litio, el hierro y el hidrógeno no fueran fundamentalmente cuerpos distintos, sino meramente aspectos diversos de una misma base, como LOCKYER deduce de sus numerosas pero censuradas observaciones; y aun cuando, en general, fuese UNA ESENCIALMENTE toda la materia (ya hidrógeno, ya otro elemento no conocido aún, ni acaso sospechado siquiera); sin embargo, la existencia de formas tan estables como el oxígeno, el hierro, el plomo, el oro….. implicaria (segun el parecer de químicos eminentes) larguísimos procesos de seleccion natural durante un pasado remoto é incalculable, de los cuales no tenemos ni la más vaga nocion. ¿Podemos hoy transformar las zebras en caballos? Aunque fueran, pues, estados alotrópicos de una misma sustancia el plomo y la plata, llegados hoy á su actual organizacion en virtud de largos procedimientos cósmicos, nuestra probabilidad de transmutar la una en el otro, sería QUIZÁ poco menor que la imposibilidad absoluta, caso de ser ambos metales esencialmente distintos, y el costo acaso muy superior al de buscar directamente el precioso metal en las entrañas de la tierra.

Pero, á pesar de opiniones tan estimables, siempre podríamos decir, caso de resultar cierta la UNIDAD DE LA MATERIA, ¿hay lógica en aplicar á lo desconocido los razonamientos con que juzgamos de las cosas conocidas? ¿No fabricamos ya sustancias orgánicas á precio más barato que utilizando su produccion por medio de la vida; la RUBIA, por ejemplo, el ÍNDIGO….?

siempre, cualesquiera que sean sus distancias y los cuerpos intermedios; y esas masas, orígen de los fenómenos, subsisten y permanecen sin cambio despues de ocurridos los fenómenos. La tierra y la luna se atraen mútuamente, y su recíproca atraccion no implica cambio ninguno en las energías residentes en estos astros. La atraccion Newtoniana es siempre la misma para los mismos cuerpos colocados á la misma distancia, y para ella no hay pantallas ni obstáculos como para el calor y la luz.

En la afinidad química no se encuentra semejante universalidad: no todos los elementos pueden formar agua: solo pueden constituirla el oxígeno y el hidrógeno; y las propiedades de estos dos gases componentes no aparecen en el agua. La atraccion electiva de los átomos depende de cualidades ignoradas, y son enteramente individuales: los átomos de hidrógeno atraen (?) á los de oxígeno, á los del cloro..... pero no á los del potasio; y la atraccion (?) del hidrógeno no se ejerce sobre pesos iguales de oxígeno y de cloro.

La atraccion universal se verifica segun leyes expresables matemáticamente, y son base necesaria de deduccion: conocidos ciertos datos, todos los hombres científicos llegan á resultados enteramente idénticos.

Por el contrario, ninguno de nuestros conocimientos relativos al oxígeno ni al hidrógeno podian habernos facultado para predecir que de su combinacion resultaria agua: un experimento nos dió ese informe, y otro experimento nos fué indispensable para saber que el agua, al descomponerse, volvia á dar hidrógeno y oxígeno.

En la idea de la atraccion Newtoniana entra la de permanencia, porque implica la de LEY conocida.

En la de afinidad entra la de CAMBIO; pero ¿cómo será el cambio? ¿Cuál concretamente? Por la apariencia de un nuevo elemento $x$ nadie podrá predecir si su incorporacion química con $A$ dará un sólido, un líquido, un gas, ni cuál será su color, su sabor, su olor, su densidad, etc., etc., etc.

Pero ¿no hay en química nada permanente? Sí: la subsistencia de las relaciones ponderales.

El químico es esencialmente experimentador: para todo necesita del laboratorio; y, por tanto, solamente le es dado registrar hechos y hechos; pero las leyes descubiertas no le autorizan, como si tuviera base científica de razonamientos deductivos, para decir, conocidos los cambios en las proporciones de un compuesto, cuáles resultados deben obtenerse necesariamente de la combinacion:—ni aun siquiera puede asegurar si habrá combinacion. ¿Qué químico ha tratado de explicar por la atraccion Newtoniana los cambios de estado, textura, color, transparencia, gusto, olor, densidad, desarrollo ó absorcion de calor, etc., etc., correlativos con ligeros cambios en las proporciones de los elementos de un compuesto? *(Eng. Cycl.)*

El químico sabe en verdad actualmente muchos hechos, y conoce muchas leyes; ha llevado á otras ciencias la luz de sus adquisiciones; ha dotado á la

mecánica con el gran principio de que la atraccion electiva es una fuerza de equivalente mecánico invariable..... pero aún aguarda la fórmula general de los cambios moleculares. Solo habrá ciencia de la afinidad cuando de las propiedades de una sustancia, conocidas por la observacion, podamos deducir su constitucion intrínseca y las leyes y cantidad de su energía.

## XVI.

Resumiendo las ideas más generalmente aceptadas, y ampliando consecuencias, puede decirse lo siguiente:

Conocemos el mundo por los fenómenos de nuestra sensibilidad, á los cuales suponemos signos correlativos con los movimientos del exterior (1); pero no signos de semejanza:

De la constitucion íntima de los cuerpos nada conocemos por consiguiente:

Nuestras más generales concepciones nos llevan á las ideas de

MATERIA....... } Substratos de ENERGÍA.
ETER............ }
MOVIMIENTO.

Determinemos el sentido de estas palabras.

Siéndonos imposible concebir la idea de accion á distancia sin un algo intermedio, no nos basta para el concepto del universo la idea de Materia ponderable, y tenemos precision de agregar á la idea de MATERIA PONDERABLE la de ETER.

La Materia y el Eter son almacenes de Energía capaces de efectuar Trabajo.

Hay Trabajo cuando una sustancia se mueve en el sentido de la fuerza que ejerce su Energía. Sin MOVIMIENTO no hay trabajo: solo hay Potencia para trabajar; que esto es la Energía (2).

Un cuerpo que ejerce fuerza posee Energía: un cuerpo que se mueve por el espacio posee Energía: pero un cuerpo no hace trabajo, si, á la vez, no ejerce esfuerzo y se mueve por el espacio. El trabajo es un producto de la Fuerza por el Espacio:

Trabajo actual=Esfuerzo hecho×Espacio recorrido.
Trabajo potencial=Energía disponible×Espacio franqueable.

---

(1) The object of science is to ascertain proximate truth by means of the senses. Science has discovered that there is a succesion and connection throughout the universe.—A. R. GROTE.

(2) ENERGÍA no es TRABAJO; pero de la energía sale trabajo ó puede salir. Cuando de la energía está saliendo trabajo se llama cinética: cuando está en depósito pronta á trabajar, se llama potencial.

Todo cuerpo que hace ó ha hecho un trabajo, pierde ó ha perdido una cantidad de Energía igual al esfuerzo que ejerce ó ha ejercido.

No hay esfuerzo posible sin una resistencia igual y contraria á la accion: si un cuerpo *A*, á pesar de su energía, marcha en direccion opuesta al esfuerzo que él mismo ejerce, es que otro cuerpo *B* hace trabajo sobre él: y entónces el cuerpo *B* pierde una cantidad de Energía igual al esfuerzo que efectúa, y el cuerpo *A* almacena en sí la misma cantidad de Energía que pierde el cuerpo *B* (1).

La Energía es, por tanto, transferible.

La Energía de cada cuerpo es, de consiguiente, la suma de su Energía propia, y de la que otros cuerpos le han transferido á costa de la que tenian: y su poder de hacer trabajo depende de la transferibilidad de esta Energía, porque si esa Energía no es transmisible, la fuerza en ella residente no puede hacer trabajo.

La Energía, pues, ni se produce ni se destruye: se traslada: la integracion de todas las energías del universo, no sufre así aumento ni disminucion; pero en una sustancia puede aumentar y disminuir, lo que en otra ú otras disminuya ó aumente al mismo tiempo.

No comprendemos la Energía sin un

Substratum material.. { cuerpos.<br>éter.

Los Cuerpos y el Eter son, así, las sustancias que poseen la Energía, capaces de ejecutar trabajo: pero—repitámoslo—de esas sustancias no sabemos nada: solo conocemos los efectos que sobre nuestra sensibilidad ofrecen sus Energías.

Los cuerpos difieren del Eter, no en tamaño sino en naturaleza ó en estado, por más que la del éter sea todo lo bastante material para poseer Energías, por cierto particularmente poderosas.

Un resorte que hace presion pero sin moverse, parece ser el tipo de la Energía potencial: el resorte en movimiento y efectuando un trabajo, parece ser el tipo de la energía cinética; un diapason en cuanto pasa del estado potencial al cinético, y del cinético al potencial, parece ser el tipo de la energía de vibracion.

Dos sustancias cuya resultante es cero, reducen sus energías al estado potencial y no producen trabajo: dos sustancias, cuya resultante no es cero, están en movimiento.

Los cuerpos son divisibles; pero debe haber partes en ellos mucho más diminutas que las que podemos obtener por la más continuada porfirizacion.

---

(1) Lo que un cuerpo acumula es energía, lo que pierde es energía, lo que conserva es energía: así solo metafóricamente pueden admitirse las expresiones corrientes «trabajo acumulado, trabajo consumido, conservacion del trabajo,» etc.

Si suponemos moléculas diminutísimas dotadas de enorme velocidad, nos es hoy fácil explicar gran parte de los fenómenos físicos. El bombardeo de esas moléculas contra los vasos que las contienen, constituiria entónces la tension gaseosa; y la repentina cesacion de su velocidad por choque contra un obstáculo no elástico, se nos revelaría en los fenómenos de calor.

Pero el hecho de la composicion de las moléculas en proporciones definidas y segun séries de números enteros, la disgregacion de sus componentes segun preferencias electivas, la reduccion de los compuestos gaseosos á solo 2 veces el volúmen imaginado para el H., la ley de los calores específicos..., se explican tambien fácilmente suponiendo á todas las moléculas como compuestas, á su vez, de otras individualidades más ténues aún, dotadas de mayor energía que la molecular: la detencion súbita de sus movimientos poderosos daria lugar tambien á los fenómenos del calor.

Los átomos de ciertas sustancias atraen electivamente á los de otras: cuando se hallan á distancias inconcebiblemente pequeñas, se precipitan unos sobre otros: pierden con el golpe su velocidad enorme, y el movimiento de translacion se convierte en otra forma de energía. Hé aquí una primera clase de atraccion: la afinidad.

Los conjuntos atómicos,—las moléculas,—cuando pierden el calor que las mantiene separadas, esto es, cuando disminuyen el radio de sus movimientos interiores tambien se acercan y se juntan: hé aquí otra segunda clase de atraccion: la cohesiva.

Los conjuntos de moléculas,—los cuerpos,—las moles planetarias—se atraen á través de toda clase de intermedios y á cualquier distancia, en razon directa de las masas é inversa del cuadrado de las distancias, cualquiera que sea la sustancia ó sustancias componentes. Esta gran fuerza parece ejercer su potencia avasalladora independientemente de toda estructura molecular: hé aquí otra tercera clase de atraccion: la gravitacion universal.

Las perturbaciones del éter en forma de vibraciones transversales, explicarian los fenómenos de la luz, y sus movimientos en forma de corrientes los de la electricidad.

Eter imponderable y contínuo,

Materia ponderable y discontínua,

Energía inmensa en uno y en otra,

Movimientos varios, como formas de esa Energía universal,

Hé aquí los conceptos actualmente admitidos por los hombres más prominentes de las ciencias.

Los varios modos de la Energía son incompatibles simultáneamente; pero posibles en la sucesion. De aquí la conservacion de su totalidad en una incesante variabilidad de formas. Como una misma masa no puede ser cúbica y esférica al mismo tiempo, así un proyectil cuando camina con enorme velocidad, no puede desarrollar el monstruoso calor que genera, súbitamente deteni-

do. Con calor se produce movimiento, pero desaparece calor. Con electricidad se producen descomposiciones químicas, pero desaparece electricidad. Con la luz del sol se hicieron las hulleras, pero desapareciendo la luz que las elaboró. No hay cesacion de una forma de energía sin aparicion de otra: la MUERTE es, por tanto, un imposible dinámico.

Parece que los átomos deben tener, además, movimientos translaticios y de rotacion dentro de su sistema molecular, y las moléculas movimientos rectilíneos en los gases.

De los movimientos atractivos ó de masa hay ciencia, base de raciocinios deductivos.

De los demás, solo conocemos leyes que no nos dispensan de una contínua experimentacion.

El éter imponderable y la materia ponderable, tienen influencia recíproca. ¿Cómo? Lo ignoramos. Los movimientos moleculares y atomísticos producen en el éter unas veces vibraciones rapidísimas, que, dentro de ciertos límites, modifican nuestra sensibilidad en la forma á que damos el nombre de luz, y otras veces movimientos de translacion en estado de corrientes, que se nos revelan bajo el aspecto de electricidad. El movimiento es, pues, transmisible de los átomos y de las moléculas al éter, y las corrientes eléctricas del éter y sus vibraciones son tambien transferibles á las moléculas y los átomos.

La energía de cada molécula no nos es apenas de provecho para efectuar trabajo, porque, aunque inmensa, no sabemos transferirla á las masas que movemos en nuestras industrias.

La energía química es utilizable, porque sabemos transportar una parte del inmenso calor de sus combinaciones.

El movimiento eléctrico nos es aprovechable, porque por medio del electromagnetismo transferimos á masas apreciables la energía de las corrientes eléctricas.

Una gran cantidad de energía se nos escapa y disipa en nuestros mecanismos industriales, porque no sabemos evitar la produccion de modificaciones moleculares (rozamientos y demás resistencias pasivas) que, luego de producidas, no nos es asequible utilizar.

La ciencia moderna se abstiene, en primer lugar, no solo de profesar dogmas positivos respecto á la esencia íntima del éter y de los fenómenos de la atraccion universal (que muchos se sienten inclinados á explicar mediante la inmensa presion del éter mismo), sino que, en segundo lugar, rehusa toda clase de afirmacion respecto de la unidad de la materia (que, en general, quisieran poder los físicos admitir resueltamente); y, no solo se mantiene en una prudentísima reserva en cuanto dice relacion con el gran problema de la unidad de las fuerzas físicas, sino tambien respecto de lo que puedan ser *per se* las afecciones que llamamos movimiento, calor, luz, electricidad, magnetismo, y, sobre todo, esas recónditas fuerzas, denominadas electivas, que se suponen residentes

en las misteriosas individualidades, especialísimas é indescifrables, á que se ha dado el nombre de átomos y de moléculas, y cuyos conjuntos y agregados diversísimos constituyen, segun el entender humano, los cuerpos que nos rodean y nuestra misma organizacion.

Estamos, pues, entre dos infinitos llenos de

EXISTENCIA y

MOVIMIENTO,

enigmas con nombre, pero acerca de cuya esencia ¡por primera vez en el transcurso de los siglos! dice, con ciencia verdadera, nuestra grandiosa filosofía actual:

IGNORO LO QUE SON. Me contento con no ignorar algunas de sus leyes.

# CAPÍTULO II.

## MOVIMIENTO ESPECIAL DEL CALOR.

I.

Como hemos visto, la inmensa divisibilidad de la materia ha hecho suponer que los cuerpos se hallan formados de moléculas (y éstas de átomos) de una tenuidad portentosa, obedientes á una fuerza especial que las atrae, ó las empuja, las unas hácia las otras, llamada cohesion, y, además de enérgicos movimientos íntimos é individuales, que las hacen vibrar ó girar sobre sí mismas, ó trasladarse alrededor unas de otras, ó girar y trasladarse, como los astros.

El calor—conocido al hombre como una sensacion—es ese movimiento íntimo de las moléculas (ó de los átomos), que se supone no podria existir ya á 273° bajo el cero del termómetro centígrado. El cero absoluto sería, pues, el reposo absoluto de los movimientos de la materia ponderable (moleculares ó atómicos), como el reposo de un péndulo que se hubiese parado, como la quietud de una campana que hubiese dejado de vibrar. La esencia de la materia entra, pues, en una sola y misma categoría, y, así, el movimiento de sus partículas, el estudio del calor es hoy el estudio del movimiento molecular. La sensacion del calor, elemento subjetivo del fenómeno, es solo en el hombre un signo de la realidad objetiva.

Estos movimientos vibratorios, pendulares ó giratorios, son de una energía portentosa, é impiden el contacto de las partículas, como sucede con los cuerpos que vibran, los cuales no se tocan mientras dura el tremor. Por esto, cuanta mayor sea la amplitud del movimiento pendular, mayor habrá de ser la distancia intermolecular; y por esto se supone (1) que la temperatura es directamente proporcional á la amplitud de la onda calorífica.

Sea lo que quiera de la hipótesis atomística y de todo lo concreto de los pormenores y detalles teóricos, hay, sin embargo, que dejar á salvo lo general de las suposiciones: á saber, que las últimas partes de la materia están dotadas de una energía considerable, la cual se nos manifiesta sensiblemente en forma de calor; y que si gastamos mucha parte de esa energía, el gasto se nos patentizará en frio de intensidad suma. La licuefaccion de los gases que se llamaban

(1) Hipótesis de RAOUL PICTET.

permanentes es, por tanto, la confirmacion práctica más decisiva de esta afirmacion teórica.

Casi todos los cuerpos conocidos pueden afectar fácilmente los tres estados, sólido, líquido y gaseoso; otros no los afectan sino con suma dificultad. El hielo es sólido, lo cual se explica diciendo que sus moléculas tienen escasa amplitud de vibracion: con el calor el hielo se licúa, con lo cual se significa que la amplitud de los movimientos moleculares se hace mucho mayor que en el estado sólido: con mayor calor aún, el agua se convierte en vapor, lo cual expresa que las moléculas han agrandado la esfera de sus movimientos individuales hasta hacer ineficaz su recíproca cohesion. El calor, pues, aparta las moléculas acuosas, contrariando así su mútua atraccion (ó lo que sea esa fuerza ó resultante de fuerzas, que las dirigia las unas hácia las otras), pero sin destruirla ni anularla; pues no bien enfriamos ó absorbemos la energía que en el vapor mantiene separadas las moléculas, volvemos á obtenerlas en el estado líquido; y, no bien las enfriamos nuevamente, volvemos á encontrarlas convertidas en hielo. Una fuerza especial, á la que damos un nombre, la atraccion, conduce las moléculas unas hácia otras, y sus movimientos les impiden el contacto.

Era, pues, una grandiosa hipótesis la que concebia los tres estados de los cuerpos, sólido, líquido y gaseoso, no como estados específicos de ciertas formas de materia, sino como consecuencias necesarias de la intensidad y del modo de movimiento de las moléculas constitutivas de la sustancia. La ciencia no admitia hace años, como ahora no admite ya, que estas moléculas pudiesen estar en reposo, sino que las miraba dotadas de enérgicos movimientos especiales de vibracion ó de rotacion y translacion, como los cuerpos astronómicos (1). Por tanto, los filósofos profesaban que en los sólidos la fuerza de cohesion hace vibrar á las moléculas al rededor de posiciones fijas, sin que se perturbe ni afecte la forma de los cuerpos: que en los líquidos faltan las posiciones fijas, y las moléculas, aunque todavía bajo el influjo de la fuerza de la cohesion, pueden moverse y girar sobre sí mismas; y que en los gases las moléculas están tan emancipadas de sus mútuas atracciones ó impulsos convergentes, que siguen las leyes ordinarias del movimiento.

A esta teoría, sea la que quiera la suerte que le tenga reservado el porvenir, ha sido dado un triunfo de los más solemnes. Lo general de su fondo, ó sea la teoría mecánica del calor, ha recibido una confirmacion, que nadie se esperaba en la reduccion de los gases permanentes á la categoría de vapores; y si, respecto de las particularidades de las vibraciones, los giros, las translaciones y los impactos moleculares, hay entre los físicos disputas y controversias animadas, éstas, hoy por hoy, se hallan reducidas al silencio relativamente á lo esencial: el calor es un modo especial de movimiento.

Consentir, pues, excepciones á las dos fuerzas antagónicas—cohesion y ca-

---

(1) P. Secchi

lor,—admitir la existencia de gases permanentes en absoluto era, *ipso facto*, invalidar el equilibrio de la materia; era reconocer la existencia de moléculas desprovistas de atraccion mútua—ó libres de presiones impulsivas de las unas hácia las otras,—y confesar que la cohesion no era una ley general de la materia ponderable.

De aquí la terquedad y la obstinada insistencia de los experimentadores, igual á la de los filósofos, y de aquí el que no terminara el feliz año de 1877 sin que dos eminencias, Louis Cailletet, de Chatillon-sur-Seine, y Raoul Pictet, de Ginebra, con aparatos enteramente distintos, y con independencia uno de otro, llegaran á licuefacer los 6 gases exceptuados, empleando como los demás físicos, sus predecesores, gran presion y gran frio exterior, pero recurriendo, conjunta y simultáneamente, al gran frio dinámico de la expansion, esto es, permitiendo á los gases, préviamente comprimidos y enfriados, una brusca y súbita dilatacion (1), es decir, consumiendo la energía calorífica, que tenia apartadas sus moléculas hasta hacerles imposible el acercarse todo lo necesario para su conversion en líquidos.

---

(1) Ya hemos visto en el libro anterior los formidables efectos del frio causado en los aero-motores por la rápida expansion del aire, solo condensado de 8 á 10 atmósferas; presiones de seguro insignificantes en comparacion de las enormes é increibles realizadas por Natterer. Tambien hemos visto que del frio de la expansion se sirve Giffard para la produccion artificial é industrial del hielo.

El rasgo distintivo de los procedimientos de Pictet y de Cailletet, es el haber recurrido ambos al gran frio de la dilatacion súbita, el cual (segun trabajos de Poisson) debia hacer descender la temperatura á 200° bajo el cero del termómetro centígrado. Aunque en la memorable sesion de la Academia de Ciencias de París del 24 de diciembre de 1877, se leyeron, por rara coincidencia, las dos comunicaciones de Cailletet y de Pictet, la prioridad corresponde á Cailletet, por haber escrito la suya el 3 (enviada bajo pliego sellado para que constase la presentacion, y sin embargo no se diese cuenta de ella por el pronto, á fin que no influyera en su eleccion á una vacante de la Academia, para la cual se habia presentado como candidato). Pictet mandó su comunicacion el 22; y, aunque la prioridad por tanto no se le adjudique, su gran mérito en nada se amengua, pues habia trabajado independientemente de Cailletet, y por medios muy distintos.

En cuanto á los resultados, los de Raoul Pictet son más decisivos que los de Louis Cailletet. Este solo demostró la posibilidad de reducir todos los gases al estado líquido, y aun al sólido. Pictet los redujo realmente á estos estados. Cailletet se sirvió, para la licuefaccion, constantemente del frio dinámico, producto de la súbita expansion. Pictet, sin recurrir á este frio dinámico, logró licuar el oxígeno en 22 de diciembre y el hidrógeno en 10 de enero, mediante temperaturas artificiales de 130 á 140 grados bajo el cero del termómetro centígrado, y presiones de 470 atmósferas para el oxígeno y de 650 para el hidrógeno. La expansion, ó frio dinámico, sirvió á Pictet para obtener, como si dijéramos, polvo de oxígeno helado y una como granizada de hidrógeno sólido, por la evaporacion del chorro líquido de este cuerpo.

El 22 de diciembre de 1877, Pictet habia ya licuado el oxígeno, y en el mismo dia, por una coincidencia singular, Cailletet lo mostró como gotas de rocío.

El efecto de la súbita dilatacion de un gas se vió brillantemente en los experimentos de Cailletet. El ázoe, comprimido en un tubo de cristal á —29° C. y una presion de 200 atmósferas, no daba apariencias de licuacion; pero, en cuanto se permitia la brusca expansion del gas, gotas de apreciable tamaño se veian claramente durante 3 segundos, adheridas á las paredes del cristal. Este experimento se repitió muchas veces en la Escuela

Ya no hay, pues, gases permanentes: la cohesion es una ley general de las moléculas materiales, y desaparece todo motivo para suponer que, si pudiéramos descender al cero absoluto, esto es, si pudiéramos concebir el reposo molecular, LA MUERTE, la no existencia del movimiento vibratorio, ó sea del calor separador de las moléculas, estas dejarian de atraerse mútuamente, y, muertas, sin actividad, sin fuerza, sin energía, permanecerian inertes y separadas unas de otras como polvo tenuísimo, invisible é impalpable.

Entremos en pormenores. Lo que vamos á exponer, son leyes especiales de los hechos independientes de toda teoría, por mas que el lenguage referente á esas leyes recuerde las teorías á que debió su origen.

## II.

El volúmen de los gases experimenta aumentos y disminuciones dependientes de dos causas principales:

El calor;

La compresion.

Todos los gases aumentan de volúmen cuando se los calienta; y se contraen cuando se los enfria.

Todos tambien disminuyen de volúmen cuando se reduce la capacidad del recipiente que los contiene, y lo ensanchan cuando se aumenta esa capacidad.

Dos tendencias en opuesto sentido solicitan, pues, las densidades:

La presion las aumenta;

El calor las reduce.

Los cuerpos, sin excepcion, están constituidos análogamente; y sus partículas constituyentes se hallan sometidas á las fuerzas antagónicas de la cohe-

---

Normal de París el 30 de diciembre de 1877. Lo mismo sucedió con el hidrógeno, aunque ménos acentuadamente, á 280 atmósferas de presion. El 14 de enero siguiente, CAILLETET licuó el aire atmosférico á la presion de 200 atmósferas y —29° C.: gotas de aire líquido se adherian á las paredes del tubo de cristal..... El primer gas permanente que CAILLETET licuó fué el óxido de ázoe, el cual permanecia gaseoso á 270 atmósferas; luego licuó el hidrógeno protocarbonado, gaseoso aun á 180 atmósferas: ambos cedieron al frio de una súbita expansion. PICTET ha podido conservar algunos minutos en estado sólido al hidrógeno, el cual tiene entonces todas las apariencias de un metal, realizándose así la profecía de LAVOISIER, las sugestiones de DUMAS hechas hace 40 años, y las inferencias de GRAHAM, quien creyó descubrir en una liga de paladio trazas de un metal, al cual llamó hidrogenio, cuya densidad calculó en 0,733, y que supuso hidrógeno en estado sólido.

Es rara coincidencia que mientras PICTET y CAILLETET estaban convirtiendo en líquidos y sólidos los gases, CROOKES estuviese rarefaciendo las moléculas gaseosas hasta un estado casi etéreo, en que se manifiestan nuevas propiedades solo por la disminucion de las colisiones y la enorme longitud, dada con la rarefaccion á las trayectorias moleculares.

sion y de la dilatacion calorífica: si el calor disminuye sin cesar en un cuerpo gaseoso, la cohesion molecular lo convertirá forzosamente en líquido ó en sólido. Si el calor aumenta en un sólido, sus partículas necesariamente pasarán al estado líquido ó al gaseoso. La temperatura da la medida de la amplitud del movimiento vibratorio del calor.

Los modernos experimentos han hecho ver que por medio de la compresion pueden anularse los espacios intermoleculares, pero no los movimientos vibratorios en las moléculas; y en tal caso—nulos ya esos espacios intermoleculares—es imposible reducir más, *por el solo medio de la compresion*, el volúmen de la masa de las moléculas, ni la magnitud de las órbitas de sus inmensamente enérgicos movimientos vibratorios y translaticios, por impedirlo la impenetrabilidad; y únicamente se podrá aún reducir ese volúmen y esas órbitas, disminuyendo, por medio de una privacion de movimiento, es decir, de un trabajo exteriorizado en un frio intenso, la amplitud de los movimientos moleculares; es decir, absorbiendo la fuerza que por tener tan apartadas las moléculas, no deja convertirse á un gas en líquido ó en sólido (1).

Las modificaciones causadas en el volúmen de los gases por efecto de los cambios en la temperatura, se rigen por la ley llamada de Gay-Lussac;

Y las modificaciones de volúmen dependientes de los cambios de presion se rigen por la ley de Mariotte, cuando las condensaciones son poco considerables.

Para el gas que respiramos, esta segunda ley es exacta hasta presiones de 100 atmósferas. Dentro de este límite, el aire seco representa el tipo por excelencia de las cualidades que se suponian propias de los gases permanentes; es, pues, perfectamente fluido, elástico y compresible.

## III.

La ley de Gay-Lussac es la siguiente:

Cuando la presion no varía, todos los gases aumentan ó disminuyen, por

---

(1) El frio (segun Berthelot ya habia dicho en 1850) tiene más que ver con la licuacion que las compresiones; y, puesto que ya Cailletet ha obtenido chorros de aire líquido, semejantes á los que lanzan los tarritos de olor de la moderna perfumería, sería posible asignar límite á nuestra atmósfera, si ésta no pudiera existir en forma gaseosa al rarefacerse hácia los espacios planetarios. Puede que exista un límite en que, por lo intenso del frio, el aire se esté siempre licuando, cayendo, revaporizándose..... y estableciendo así una circulacion contínua.

Por último, digamos que hace 51 años, en 1828, Colladon hizo experimentos muy semejantes á los de Cailletet, á temperaturas de 30° bajo el cero centígrado y á presiones de 400 atmósferas. Si la teoría dinámica del calor hubiera sido entonces conocida, hace ya 50 años se habrian licuado los gases permanentes, permitiendo su brusca y súbita expansion.

cada grado de ascenso ó descenso en la temperatura, $\frac{1}{273}$ del volúmen que tenian á la temperatura del hielo fundente (1).

Sea un cilindro con su piston $P$. El espacio inferior del 4 al 8 está lleno de aire á la presion normal y á la temperatura de cero grados.

Sobre el piston $P$ carga, de arriba para abajo, la presion atmosférica, *figura* 94.

Ahora bien: si la temperatura sube un grado en el espacio 4 á 8, sin que varíe la presion atmosférica exterior, el volúmen aumentará $\frac{1}{273}$ de lo que era á cero grados; y el piston se elevará un poco, tomando la posicion simbolizada por $P'$ en la *figura* 95. Si la temperatura sube 2, 3, 4..... grados, el volúmen primitivo aumentará $\frac{2}{273}$, $\frac{3}{273}$, $\frac{4}{273}$.....

Y si, permaneciendo siempre constante la presion atmosférica exterior, aumentase 273 grados la temperatura del espacio inferior, entonces el volúmen primitivo ocuparia doble espacio, y el piston tomaria la posicion $P''$ de la *figura* 96.

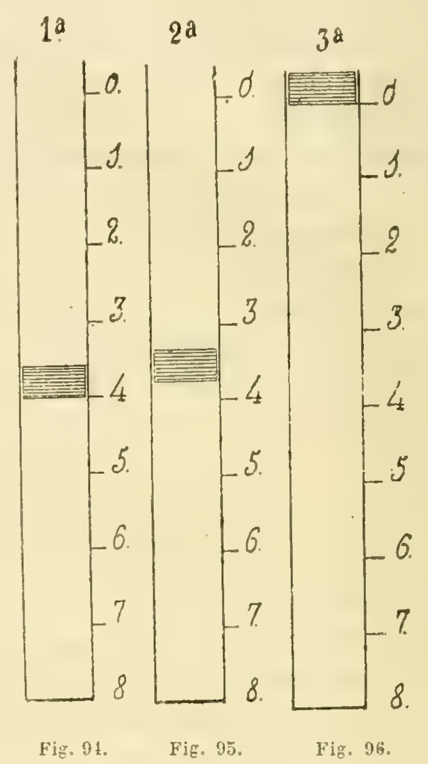


Fig. 94. Fig. 95. Fig. 96.

De manera que, si á cero grados, y una determinada presion, es $V$ el volúmen de una masa de aire, será á $t$ grados el nuevo volúmen, si la presion no varía,

$$= V + \left(V \times \frac{t^{\circ}}{273}\right)$$

ó sea

$$\text{volúmen nuevo} = \text{Volúmen primitivo} \times \left(1 + \frac{t^{\circ}}{273}\right)$$

Y si, como ahora se hace modernamente, se cuentan las temperaturas, siempre que se trata de la ley de Gay-Lussac, no desde el cero del termómetro centígrado, sino desde el punto hipotético de la carencia de todo movimiento mo-

---

(1) Gay-Lussac, 1804, solo halló $\frac{1}{267}$ para coeficiente de dilatacion. Los trabajos posteriores de Rudberg, Magnus, Pouillet y Regnault, han hecho adoptar el coeficiente $= \frac{1}{273}$. Estos trabajos han demostrado que la ley de Gay-Lussac, sin ser de un rigor matemático, es bastante aproximada á la verdad para considerarla como exacta. El coeficiente del hidrógeno es algo menor que $\frac{1}{273}$, etc.

lecular, es decir, desde el otro cero ficticio, que se supone á 273 grados mas abajo del cero determinado por el hielo fundente, entonces la ley de GAY-LUSSAC puede formularse de esta otra manera:

Cuando la presion no varía, los volúmenes son proporcionales á las temperaturas absolutas (1).

IV.

La ley de MARIOTTE se expresa así:

Cuando la temperatura no varía, los volúmenes de una misma masa de gas (supuesto permanente) están en razon inversa de las presiones que la masa soporta.

Doblad la presion y el volúmen (del aire, por ejemplo) quedará reducido á la mitad.

Disminuid la presion hasta convertirla en la mitad, y el volúmen del aire doblará.

Esta ley se creia absoluta, y en consecuencia se establecian los cálculos como sigue:

Si una misma masa de aire, siempre á una misma temperatura, ocupa sucesivamente bajo las presiones

$$P,\ P',\ P'',\ P'''\ldots\ldots$$

los volúmenes

$$V,\ V',\ V'',\ V'''\ldots\ldots$$

podrá siempre admitirse sin error, que

$$V : V : V'' : V'''\ldots :: \ldots : P''' : P'' : P' : P.$$

Y, así, en cualquier proporcion de la forma

$$Vol.\ \text{primitivo} : Vol.\ \text{nuevo} :: Pr.\ \text{nueva} : Pr.\ \text{primitiva},$$

ó bien

$$V\,\text{prim} \times P\,\text{prim} = Vn\,Pn,$$

conocidas 3 de estas 4 cantidades, podia calcularse la cuarta, segun las reglas comunes.

---

(1) Es decir, á las temperaturas contadas desde el cero ficticio; no desde el cero del termómetro centígrado, ó del hielo fundente.

Hoy, esto solo puede admitirse hasta 100 atmósferas, sin temor de error sensible (1).

Por consiguiente, la ley de MARIOTTE se enunciaba de este otro modo:

A igualdad de temperatura, la fuerza elástica de una misma masa de gas, está en razon inversa de los volúmenes que ocupa.

Como se ve, estas leyes expresaban hechos independientemente de toda teoría relativa á vibraciones moleculares y choques de las moléculas.

## V.

Admitidas enteramente como ciertas *en absoluto* las dos leyes de GAY-LUSSAC y MARIOTTE,

¿Cuál es la modificacion que deberá sufrir una masa de aire por la doble variacion de la presion y la temperatura simultáneamente?

Siendo $V$ el volúmen primitivo $\begin{cases} \text{á cero grados,} \\ \text{y presion } p, \end{cases}$

y siendo $p'$ la nueva presion, resultaria el nuevo volúmen, por causa solo del cambio de presion,

$$V \times \frac{p}{p'}$$

Pero, por haberse convertido $0^{\text{grados}}$ en $t^{\text{grados}}$, apareceria

$$\left(V \times \frac{p}{p'}\right)\left(1 + \frac{t}{273}\right);$$

de modo que, designando por $W$ la doble modificacion por presion y por temperatura, tendremos:

$$W = \left(V_{\text{primit}} \times \frac{p_{\text{primit}}}{p_{\text{nueva}}}\right)\left(1 + \frac{t^{\text{gr}}}{273}\right);$$

No cambiando la temperatura, y, por consiguiente, siendo

$$t = O$$

nos reapareceria la fórmula de MARIOTTE

$$W = Vol_{\text{ primit}} \times \frac{p_{\text{primitiva}}}{p_{\text{nueva}}}.$$

Y, no variando la presion cuando

$$\textit{presion nueva} = \textit{presion primitiva}$$

---

(1) Cuando la temperatura no cambia el volúmen nuevo, como inverso de las presiones, se halla multiplicando el volúmen conocido por el quebrado:

$$\frac{\text{presion primitiva}}{\text{presion nueva}},$$

Y así:

$$\text{Vol. nuevo} = \text{Vol. prim} \times \frac{p_{\text{prim}}}{p_{\text{nueva}}}.$$

reaparecería la ley de Gay-Lussac

$$W = V_{\text{prim}} \times \left( \frac{1 + t^{\text{grados}}}{273} \right).$$

Y, por tanto, la fórmula general

$$W = \left( V = \frac{p}{p'} \right) \left( 1 + \frac{t}{273} \right)$$

tendria que leerse de este modo:

Dada una masa de gas, sus volúmenes son, á temperatura igual, en razon inversa de las presiones; y, á presion igual, en razon directa de las temperaturas absolutas.

Resulta necesariamente de lo dicho, que si, no variando la temperatura, se introdujera en un mismo recipiente doble, triple, cuádruple...... número de moléculas gaseosas, de aire por ejemplo, la densidad del aire sería doble, triple, cuádruple.....; y podríamos enunciar de un nuevo modo la ley de Mariotte:

Las densidades de una misma masa de gas permanente, están en razon directa de las presiones cuando la temperatura no cambia:

O bien: Las densidades son proporcionales á las presiones.

Y si, no variando la presion, se hiciera por medio del calor, ocupar á un mismo número de moléculas doble, triple, cuádruple..... espacio, podríamos enunciar la ley de Gay-Lussac de este nuevo modo:

Las densidades de una misma masa de gas están en razon inversa de las temperaturas absolutas, cuando la presion no cambia.

Hasta 1827, se estuvo admitiendo como absoluta la ley de Mariotte para todas las presiones y para todos los gases, así de los entonces licuables, como de los llamados en aquella época permanentes.

Pero Despretz vió que no á todos los gases se aplicaba, y que las excepciones á la ley se hacian tanto más sensibles con ciertos fluidos aeriformes, cuanto más próximos se hallaban á su punto de licuacion.

Regnault, con aparatos de precision extrema, confirmó los experimentos de Despretz..... todos los vapores (de mercurio, agua, alcohol, ácido sulfuroso, ácido carbónico.....) decrecen en volúmen más rápidamente de lo que lo requiere la ley de Mariotte.....

Pero los experimentos de Natterer en 1854, hicieron ver que la ley de Mariotte tampoco se verifica cuando se trataba de elevadas compresiones respecto de los gases permanentes mismos.

Natterer introducia, progresivamente, dentro de un espacio cerrado é invariable, volúmenes iguales del gas cuya ley queria comprobar. El método, como se ve, era irreprochable; y el manómetro que le servia para medir las presiones se estimaba como muy sensible. En el cuadro siguiente, la 1.ª columna designa los volúmenes de gas comprimidos en el volúmen primitivo; la 2.ª columna da en atmósferas las presiones observadas, y la 3.ª columna presenta las diferencias entre cada dos presiones observadas consecutivamente.

| HIDRÓGENO. | | | OXÍGENO. | | | ÁZOE. | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Volúmenes. | Atmósferas. | Diferencias. | Volúmenes. | Atmósferas. | Diferencias. | Volúmenes. | Atmósferas. | Diferencias. |
| 0 | 0 | 8 | | | | | | |
| 8 | 8 | | | | | | | |
| 18 | 18 | 10 | 0 | 0 | 7 | 0 | 0 | 5 |
| 28 | 28 | | 7 | 7 | | 5 | 5 | |
| 68 | 68 | 10 | 17 | 17 | 10 | 15 | 15 | 10 |
| 78 | 78 | | 27 | 27 | | 25 | 25 | |
| 128 | 134 | 12 | 157 | 157 | 10 | 75 | 75 | 10 |
| 138 | 146 | | 167 | 167 | | 85 | 85 | |
| 238 | 274 | 13 | 227 | 232 | 11 | 225 | 240 | 12 |
| 248 | 287 | | 237 | 243 | | 235 | 252 | |
| 358 | 438 | 16 | 277 | 287 | 11 | 275 | 306 | 15 |
| 368 | 454 | | 287 | 298 | | 285 | 321 | |
| 418 | 539 | 17 | 357 | 382 | 12 | 355 | 444 | 22 |
| 428 | 556 | | 367 | 494 | | 365 | 466 | |
| 458 | 608 | 19 | 417 | 463 | 16 | 415 | 600 | 30 |
| 468 | 627 | | 427 | 479 | | 425 | 630 | |
| 488 | 665 | 20 | 457 | 539 | 24 | 455 | 729 | 35 |
| 498 | 685 | | 467 | 563 | | 465 | 764 | |
| 538 | 775 | 24 | 487 | 614 | 27 | 485 | 840 | 42 |
| 548 | 799 | | 497 | 641 | | 495 | 882 | |
| 598 | 930 | 28 | 537 | 764 | 36 | 535 | 1095 | 64 |
| 608 | 958 | | 547 | 800 | | 545 | 1159 | |
| 668 | 1134 | 30 | 597 | 1010 | 46 | 595 | 1546 | 94 |
| 678 | 1164 | | 607 | 1056 | | 605 | 1640 | |
| 758 | 1434 | 37 | 647 | 1284 | 70 | 645 | 2046 | 110 |
| 768 | 1471 | | 657 | 1354 | | 655 | 2156 | |
| 828 | 1701 | 40 | | | | 675 | 2394 | 128 |
| 838 | 1741 | | | | | 685 | 2522 | |
| 878 | 1904 | 44 | | | | 695 | 2654 | 136 |
| 888 | 1948 | | | | | 705 | 2790 | |
| 908 | 2044 | 54 | | | | | | |
| 918 | 2098 | | | | | | | |
| 948 | 2277 | 70 | | | | | | |
| 958 | 2347 | | | | | | | |
| 978 | 2505 | 89 | | | | | | |
| 988 | 2594 | | | | | | | |
| 998 | 2689 | 101 | | | | | | |
| 1008 | 2790 | | | | | | | |

Los experimentos del cuadro anterior probaron hasta la evidencia, que la ley de MARIOTTE es completamente falsa desde 150 atmósferas en adelante. Cuando se han comprimido 657 volúmenes de oxígeno, en vez de ser la presion de 657

atmósferas, como la ley reclama, la presion es mucho más del doble, puesto que resulta de 1354: para los mismos 657 volúmenes, la del ázoe se eleva á 2156, es decir, á mucho más del triplo, y la del hidrógeno, tambien para 657 volúmenes, asciende á 1104, que no llega al duplo. En presiones inferiores, el oxígeno se ajusta bastante á la ley teórica, puesto que á 167 volúmenes corresponden 167 atmósferas. A 85 hay para el ázoe conformidad entre la teoría y la observacion, y á 78 para el hidrógeno; por manera que, á ménos de 100 atmósferas, las anteriores fórmulas de Gay-Lussac y Mariotte pueden considerarse como exactas, respecto de los tres gases citados (y del aire atmosférico por consiguiente).

VI.

Admitidas, pues, como buenas hasta la presion de 100 atmósferas las fórmulas anteriores, continuemos nuestros cálculos.

Claramente se concebirán las dificultades que en la práctica ha de entrañar el uso de dos leyes tan contrarias en la inmensidad de casos y combinaciones que pueden ocurrir, segun cambien el volúmen, la presion y la temperatura, y que, además, dejan de ser leyes en cuanto se pasa de cierta densidad.

Cuando no se conocian, ó no se empleaban los enérgicos y eficaces medios de frigorizacion que hoy posee la industria para absorber el calor exteriorizado en toda compresion, era indispensable de todo punto hacer uso de la complicada fórmula (que en pasando de 100 atmósferas no era verdadera),

$$W = \left(V \times \frac{p}{p'}\right)\left(1 + \frac{t}{273}\right),$$

considerada como general para todos los gases y presiones; pero, dentro del límite de 100 atmósferas, y domiciliados ya en la práctica esos potentes recursos de frigorizacion, no constituye verdaderamente el calor desarrollable—por mucho que la tension crezca—la mayor dificultad que encuentra la produccion del aire comprimido.

Si en Airolo se mantienen á 30 grados, aparatos que comprimen á 6 atmósferas, natural es abandonar la compleja fórmula general, y hacer uso de la sencilla ley de Mariotte

$$W = \frac{p}{p'} V:$$

salvo el corregir luego los resultados, por medio de un coeficiente de temperatura, próximamente igual á

$$1 + \frac{10}{273} = \frac{283}{273} = 1{,}036630;$$

si, no consiguiéndose reducirlo más aún, saliese siempre de los compresores el aire percondensado con un aumento de 10° sobre la temperatura ambiente.

## VII.

Naturalmente surge ahora una cuestion : ¿qué influencia podrá tener en la ley de Mariotte el vapor del agua refrigerante en inyeccion pulveriforme?

Con efecto, la teoría está fundada sobre el supuesto de hallarse perfectamente seco el aire á comprimir. Pero mal podrá contarse con aire seco á orillas de los Océanos, donde hayan de establecerse las grandes factorías que recojan la Fuerza de las mareas y de los vientos encrespadores de las olas: por el contrario, el aire que en las playas se comprima, estará necesariamente saturado, ó casi saturado, de humedad.

Por suerte, el aire húmedo á saturacion, obedece sensiblemente á la ley de Mariotte. Ya sabemos que el desarrollo de calor es muchísimo ménos importante cuando se comprime aire saturado de humedad, que cuando se comprime aire seco. Ahora nos toca decir, que en altas tensiones la humedad ahorra trabajo; y que solo cuando la tension no llega á 2 atm. es cuando el condensar aire seco exige ménos trabajo que la condensacion del aire húmedo (recuérdese, por otra parte, el ingenioso método de secar aire pasándolo por agua fria, pág. 216): y es que el vapor de agua, cuando la presion aumenta, se queda constantemente en estado gaseiforme; porque el calor que la compresion desarrolla, impide que las moléculas del agua pasen al estado líquido; y, cuando la mezcla de aire y de vapor se dilata, queda saturada tambien, por volver al estado líquido una parte de las moléculas de vapor; y, así, *cuando el agua en estado gaseiforme es suficiente*, siempre la mezcla de aire y de vapor permanece saturada, sea que la mezcla se condense, sea que se dilate (1).

---

(1) Cuando, permaneciendo constante la temperatura, es comprimido un vapor en contacto con el líquido de que procede, se acerca al líquido una porcion de las moléculas gaseosas, la cohesion las captura y las vuelve al estado líquido; por lo cual el resto de las moléculas gaseosas, encontrando, por el secuestro de las convertidas en líquido, espacio suficiente en que moverse, continúan sus movimientos con la misma anterior velocidad, y ejerciendo en el ya reducido espacio, la misma presion que el total inicial en el espacio primitivo.

Pero, aumentando la temperatura, suceden dos cosas:

1.° La fuerza de cohesion del líquido decrece;

2.° La energía cinética del gas aumenta; y es fácil, por tanto, concebir un momento, en el cual la fuerza de cohesion sea impotente para vencer la de separacion de las moléculas; y entonces, por más que comprimamos un gas con nuestras escasas fuerzas exteriores, no lograremos auxiliar á la fuerza de la cohesion con lo necesario para que recupere el poder perdido de juntar las moléculas, hasta traerlas al estado líquido nuevamente. En tal caso, como las fuerzas moleculares son tan gigantescas, jamás se licuará el vapor, por tremendas que nos parezcan las presiones á que los sujetemos con nuestros (relativamente) insignificantes medios mecánicos.

## VIII.

No es de presumir que en la práctica (al ménos en el estado actual de la Industria) se necesite condensar el aire atmosférico á presiones superiores á 100 atmósferas: lo comun y corriente será una tension de 10 á 15 atmósferas.

Pero en el caso de ser menester aire percondensado á grandísimas presiones (inclusas las fabulosas de casi 3000 atmósferas á que llegó Natterer para el hidrógeno y el ázoe) podremos estar seguros de obtenerlas, sin licuefaccion de los gases, siempre que nos ciñamos exclusivamente á la compresion, y no empleemos, simultáneamente con ella, poderosos medios de frigorizacion juntos á bruscas dilataciones del gas, prévia y enormemente percondensado á la baja temperatura que la frigorizacion pueda permitir.

La compresion sola no fué eficaz en manos de Natterer á licuar los gases permanentes; la frigorizacion sola tambien resultó impotente en manos de habilísimos experimentadores: el empleo simultáneo de la compresion y del frio falló tambien en los experimentos de Andrews (1861) y del gran Faraday (1823); si bien éste logró utilizarlas para licuar varios gases antes tenidos por permanentes, entre otros el cloro, ya licuado en 1805 por Northmore (sirviéndose al parecer de los mismos medios, igualmente empleados en 1800 por Monge y por Clouet para la licuefaccion del ácido sulfuroso). Por eso Berthelot dedujo de sus experimentos en 1850, que *la presion* AISLADA *es incapaz de producir la licuefaccion de los gases bajo ciertas condiciones de temperatura.*

Solo haciendo efectuar á gases ya enfriados y enormemente comprimidos, el considerable trabajo de su brusca dilatacion, es decir, absorbiendo la Energía que mantiene sus moléculas á distancias superiores á las fuerzas de la cohesion, es como podrán ser tales gases reducidos al estado líquido y hasta al sólido. La licuefaccion de todos los gases por Cailletet y por Pictet ha sido en tal concepto, la más brillante confirmacion de la teoría dinámica del calor.

Realizar un trabajo es gastar calor. Cuando un resorte ha consumido toda su fuerza, ya no se mueve más. Gastar calor *en grande* es hacer las amplitudes pendulares de los átomos mucho menores que la distancia á que es eficaz la atraccion molecular (1); y, repitámoslo, solo cuando esa amplitud se hace en los gases menor que el radio eficiente de la esfera de la atraccion molecular,

---

(1) ..... Ce travail, se decia Pictet, sera fourni au détriment de la température du gaz, mais cet abaissement de température pourra être tel, que le gaz perde toute trace de chaleur, et qu'une partie de ce gaz passe par le zero absolu, ce point particulier où la vibration calorifique est nulle. Dans ce cas evidemment la *cohésion, si elle est une force générale,* amènera l'état liquide et même solide du corps étudié..... Si ce changement n'avait pas lieu, une partie du gaz deviendrait une poussière inerte, et alors la cohésion ne serait point une loi générale de la nature.

Raoul Pictet.

es cuando resulta posible esa mayor aproximacion individual de las moléculas, única compatible con el estado líquido.

Esta distancia es lo que Andrews llamó el punto crítico de la licuacion.

Por tanto, si en un recipiente lleno de moléculas gaseosas, dotadas de exuberante energía, que contiene potencialmente una suma inmensa de trabajo, se introducen nuevos volúmenes de moléculas, provistas de igual fuerza potencial, y no se hace nada por consumir la colosal potencia que vamos almacenando, el resultado será, como el de Natterer, llegar á presiones espantosas sin obtener la licuefaccion; porque la licuacion no se produce mientras las moléculas gaseosas están dotadas de una amplitud de movimiento incompatible, por más ámplia, con la eficacia de la cohesion (1).

Antiguamente se creia que la compresion era siempre bastante (2) para contrariar esa amplitud de movimiento, estorbarla, y permitir la aproximacion de las moléculas gaseosas, de tal modo que estas pudiesen pasar al estado líquido; porque se consideraban ligadas de tal suerte la presion y la temperatura, que se suponia á la una capaz de desempeñar las funciones de la otra.

Los experimentos de Natterer demostraron que las moléculas de los gases llamados permanentes estaban dotadas de tal energía, que ni la frigorizacion sola era bastante á disminuir tanta potencia, ni tampoco la compresion: la com-

---

(1) La temperatura á la cual es tanta la energía de los movimientos vibratorios de un gas, que no puede ser convertido nunca en líquido, ha recibido de Andrews la denominacion de *punto crítico*, y de Mendelejeff la de *punto absoluto de la ebullicion.*

Sobre esta temperatura, sea que el gas se dilate, no brusca sino suavemente, sea que se comprima, seguirá siempre manteniendo su estado físico, caracterizado por la libertad de sus movimientos: las fuerzas de la cohesion son entonces nulas, porque las excursiones de los movimientos caloríficos son más grandes que el radio de la actividad de la cohesion.

Ahora puede entenderse por qué los gases que se llamaban permanentes, no pudieron licuarse ni aun con las monstruosas presiones Natterianas: su punto crítico, ó sea su punto de ebullicion absoluta, se halla situado á muy bajas temperaturas.

Todos los fluidos aeriformes pueden licuefacerse, y la licuefaccion será tanto más fácil, cuanto más alto sea el punto absoluto de la ebullicion. Por tanto, gases y vapores tienen igual constitucion física. Solo químicamente pueden ser distintos, por diferir en la naturaleza y constitucion de sus moléculas.

(2) El método usado por Davy y por Faraday era la compresion del gas sobre sí mismo, dentro de un fuerte tubo de vidrio, rodeado de una mezcla refrigerante: el gas se aumentaba en el reducido espacio, á medida que el calor lo hacia desprenderse de otro recipiente á propósito, comunicante con el tubo de vidrio.

Davy estaba en el estéril error de que la compresion era el medio más adecuado para efectuar grandes compresiones, por cuanto, creyendo exacta la ley de Mariotte, consideraciones de un *à priori* especioso, le hacian afirmar que la doble presion reducia todo volúmen gaseoso á su mitad, mientras que 1 grado de descenso en la temperatura, solamente reduce el volúmen $\frac{1}{273}$, y la eficacia de las mezclas refrigerantes hallan pronto un término enteramente infranqueable. Entonces no se pensaba que producir trabajo era gastar calor, y que la expansion súbita de un gas equivalia á crear frios de intensidad incomparable.

presion sobre todo era un pobrísimo medio de vencer la tremenda fuerza vibratoria de las moléculas de un gas.

No quedaba más recurso que gastar y consumir dinámicamente esa fuerza inmensa (1); y así es como, por fulguraciones felices del genio, han podido atenuar Cailletet y Pictet esos movimientos (para la licuefaccion el uno y la solidificacion el otro) con tanta eficacia y éxito tan feliz, que, consumida en la brusca expansion la energía que mantenia apartadas las moléculas en el estado gaseoso, lograron hacer preponderantes las fuerzas de la cohesion sobre la amplitud de los movimientos caloríficos, sus antagonistas (lo que no ha excluido el empleo de frigorizaciones enérgicas y de poderosas compresiones).

Si la cohesividad de las moléculas fuese por sí sola bastante á producir la licuacion, esa licuacion, no dejaria de realizarse bajo la influencia de poderosas presiones, porque al cabo se acercarian tanto las moléculas, cuanto para ello fuese menester.

Pero la compresion que podemos realizar con nuestros medios industriales, es ridículamente pobre para contrarestar la amplitud de los movimientos moleculares de los antiguos gases permanentes. Todo lo más que podríamos hacer sería ir reduciendo los espacios intermoleculares, hasta que la impenetrabilidad de la materia y la energía de sus movimientos íntimos impidiese una mayor reduccion; y hé aquí por qué los gases pueden presentar, y presentan «haciéndose impenetrables,» resistencias iguales á las de los líquidos y de los sólidos.

A las leyes de Mariotte y Gay-Lussac, que antes gobernaban exclusivamente el estudio de la Pneumo-dinámica, hay que agregar hoy imprescindiblemente los principios de la teoría dinámica del calor, porque en los resultados de altas compresiones hay que llevar ahora en cuenta un nuevo elemento: la longitud de la onda calorífica, ó de la trayectoria molecular. El conocimiento de las teorías relativas á la constitucion de la materia son la base de la ciencia de la compresion gaseosa.

## IX.

Desde luego se comprenderá que esta obra no tiene por objeto utilizar el movimiento de los mares para llegar á las fantásticas condensaciones del profesor Natterer; y que, por consecuencia, pueden mirarse en ella como suficientes las leyes de Gay-Lussac y de Mariotte. Pero de la nueva teoría dinámica, confirmada tan brillantemente por Pictet y Cailletet, tenemos obligacion de sacar una gran enseñanza: no debemos, al utilizar el aire percondensado, consentir bruscas dilataciones; ni tampoco, al condensar el aire, efectuar rápidamente las compresiones. Utilizar con lentitud el aire préviamente percon-

(1) Un kilógramo de hidrógeno solidificado, es capaz de absorber más de 2000 calorías.

densado, es absorber calor, ó sea tomar fuerza motriz de todo cuanto nos rodea, porque es permitir á los cuerpos circunstantes que repongan con su calor natural (igual al del espacio ambiente) todo el que la masa gaseosa va perdiendo al dilatarse. Comprimir de prisa, es convertir en calor una suma de energía, que no tiene luego de quedar almacenada en el aire comprimido, sino que ha de disiparse, necesaria é inmediatamente, esparciéndose por el espacio, y luego repartiéndose por los cuerpos circunstantes.

Prensar bruscamente un gas es lo mismo que calentarlo, es hacer que las moléculas aumenten el número de sus colisiones, y por tanto sus movimientos vibratorios, ó aceleren los átomos sus giros, y, por consiguiente, que pasen del estado sólido al líquido ó de éste al gaseoso: mayor compresion aún, es lo mismo que mayor calefaccion; es dar mas fuerza á la amplitud del trayecto molecular, y obligar á las moléculas gaseosas, si están prisioneras en un vaso cerrado, á ofrecer mayor tension; ó, si la presion permanece constante, á sostenerla contra área mayor.

Por consiguiente tambien, dejar que se dilate de pronto al aire libre un gas poderosamente comprimido, es gastar en desviar el peso de la atmósfera ambiente toda la energía calorífica que apartó sus moléculas desde el estado sólido: es, habiendo expansion bastante, licuarlas ó solidificarlas; porque las moléculas, recorriendo repentinamente toda la trayectoria que les es posible recorrer, quedarán privadas de sus fuerzas invisibles; y, si fuera posible consumir así toda, toda su Energía, vendrian al cero absoluto, es decir, á la inmovilidad absoluta, si antes, ó acaso en el momento de la inmovilidad, las fuerzas de la cohesion (probablemente la presion etérea) no las juntasen; ya para constituir el estado líquido, cuando la fuerza consumida en la brusca distension molecular no fuera la máxima; ya para constituir el estado sólido, cuando la fuerza gastada en la expansion fuese la mayor posible.

En resúmen, si las moléculas gaseosas han de aproximarse hasta poder constituirse en estado líquido, es preciso quitarles la enorme energía de que están dotadas, y esa fuerza de cierto se consumirá realizando un trabajo equivalente. Cuando el punto crítico no está muy por debajo del cero del termómetro centígrado, la licuefaccion cuesta poco esfuerzo; pero mucho cuando el punto crítico se halla á muchos grados bajo el cero centígrado.

## X.

Para la mecánica industrial no es indiferente la clase de trabajo que haya de realizar el aire comprimido; y el ingeniero que quiere almacenar energía para el trabajo, no puede admitir que un aero-motor produzca hielo en vez de movimiento, ni que un compresor desarrolle destructora temperatura en vez de acopiar grandes cantidades de aire comprimido.

Hay en esto una economía y disciplina dinámica, cuyo estudio merece la mayor atencion.

Por obedecer, pues, sensiblemente el aire saturado de humedad á la ley de MARIOTTE, y por haber quitado los actuales medios de frigorizacion casi toda su importancia á la temible ley de GAY-LUSSAC, me he creido autorizado para dirigir exclusivamente mi atencion, durante los estudios que han de seguir, á la energía que en forma de resorte almacena el trabajo de la compresion dentro del aire percondensado, prescindiendo (para los cálculos) del calor que se exterioriza en forma sensible al termómetro.

Lo mismo me ha sucedido relativamente al frio, que se exterioriza en el trabajo de la dilatacion gaseosa dentro de los aero-motores.

Y esa economía especial que determina y define las relaciones de ESPACIO, TIEMPO y PESO á que debe ajustarse el compresor cuando condensa, ó el aero-motor cuando utiliza, influye tan poderosamente en la exteriorizacion del calor ó del frio, segun la ley de GAY-LUSSAC, que al análisis sola y exclusivamente de la ley de MARIOTTE, rigorosa y exacta para los antiguos gases permanentes mientras que la distancia de molécula á molécula es muy grande, es decir, hasta 100 atmósferas, se reducirán los estudios contenidos en los libros subsiguientes; porque, á mi entender, anatomizar la ley de MARIOTTE (para presiones inferiores á 100 atmósferas) es sorprender los secretos de la compresion gaseosa, y entrar en posesion de las condiciones imprescindibles para utilizar industrialmente la admirable potencia secundaria del aire comprimido.

# APÉNDICES AL LIBRO VI.



## I.

Hombres eminentes llegan á la idea de una ESTÁTICA UNIVERSAL, á la cesacion de todo movimiento, á la MUERTE, en fin, partiendo de las hipótesis de los movimientos actuales.

Los soles existentes, irradiando todas sus energías, se apagarán al cabo, y en sus mútuas colisiones crearán nuevas nebulosas, génesis de nuevos soles prolíficos, pero que tambien se apagarán..... hasta que, efectuadas todas las transformaciones posibles en ciclos incalculables y tiempo inconcebible, el universo entero llegue á entrar en un perenne equilibrio inquebrantable, y cese toda posibilidad de movimiento en acto; embargadas unas por otras, como iguales y contrarias, todas las energías presentes y futuras: ¡cristalizacion universal!

Pero, si hombres tan eminentes admiten tiempos infinitos, ¿cómo lo que ya no ha sucedido tiene de suceder? Además, ¿el éter es contínuo ó discontínuo? Si ese almacen de Fuerza inagotable fuera discontinuo, ¿cómo haria sentir su accion á distancia sin un contínuo intermedio? Y si es preciso admitir como condicion de la transmision de la Energía la condicion de la continuidad, no como abstracto concepto subjetivo, sino como realidad material objetiva; si hay algo realmente contínuo; si ese algo es acaso lo que en la realidad corresponda á nuestro concepto subjetivo de la extension; si el éter mismo fuera un estado imponderable ya muy evolucionado de materia altamente condensada, ¿cómo puede llegarse críticamente á conclusion ninguna, prescindiendo del substratum de toda transmision, de toda evolucion, de todo cambio, que es ese algo indescifrable cuyo necesario atributo debe ser la continuidad? ¿Es acaso evidente que el equilibrio sea compatible con lo que quiera que fuere la continuidad?

Podrá equilibrarse lo finito, lo concreto, lo determinado en intensidad y direccion, con otro finito, con otro concreto, con otro determinado en intensidad y direccion antagónicamente adecuadas y de su misma especie; pero ¿cómo equilibrar lo que sea infinitamente contínuo, ni con qué? ¿No debe ser el atributo de esa infinita continuidad fuerza infinita?

Ciertamente no es propio de la física el ocuparse en buscar la razon de las leyes que descubre. Pero, si no le es permitido preguntar: ¿Qué es la materia? ¿Es finita ó infinita? ¿Hay en la inmensidad espacios vacíos y espacios plenos de materia?..... si todo esto corresponde á otra ciencia más especulativa, ¿por qué ha de ser lícito á la dialéctica FORMAL de las matemáticas combinar entre sí solo las leyes conocidas, sin dejar nada en las fórmulas para las muchas, que ni aun siquiera sospechamos, y que de cierto existen? Sin el cálculo, la ciencia no sería lo que es; pero ¿basta la verdad FORMAL de las matemáticas para prescindir de la aquilatacion CRÍTICA de los principios, y dar sus conclusiones—DIALÉCTICAS meramente—como ciertas CRÍTICAMENTE? ¿No dice nada á los hombres del análisis el naufragio (una vez, y otra, y ciento repetido) de famosas y triples integrales? ¿De qué ha servido la teoría matemática de POISSON sobre los dos famosos fluidos eléctricos, en los cuales nadie cree ya? ¿Sobre el fluido magnético, derrotado ante los solenoides ingeniosísimos de Ampère? ¿Sobre la capilaridad atractiva y repulsiva?.....

Independientemente de lo que pueda corresponder en la realidad objetiva al concepto meramente especulativo de la continuidad, ¿no hay que llevar en cuenta siempre, que no desaparece una forma de Energía sino manifestándose otra en el acto? ¿Que no cesa

el tremor molecular del calor, sin su inmediata conversion en movimiento de masa, ó bien en flujo eléctrico, ó bien en orientacion magnética....., etc.? ¿Que no se destruye el movimiento de masa sin generacion correspondiente de movimiento invisible de calor, ó de electricidad, ó de otra afeccion correlativa? ¡Llegar á la estática universal! ¿Cómo? ¿Cómo desaparece una forma cualquiera de Energía? ¡Apareciendo siempre y en el acto otra equivalente!

No: ni la materia ni la fuerza se aniquilan: se transforman solo.

Dos gases desaparecen, pero en su lugar se ostenta un líquido: agua, por ejemplo. Un uranolito cae, pero su rápida carrera se habia ya convertido en calor y en deslumbrante luz y trueno tremebundo. La luz del sol se va, pero queda en el carbon. La pila se gasta al excindir los compuestos, pero la fuerza allí perdida se transfiere á los componentes para el dia en que de nuevo se combinen.

¡Transformacion y equivalencia! ¡Estática nunca! Hé aquí lo que el universo nos ofrece.

La materia, pues, y el éter jamás estarán en reposo, sino en perpétua transformacion de sus fuerzas. Quietud, en una acepcion profunda, es un puro concepto subjetivo sin realidad objetiva: quietud quiere decir cesacion de ver, ó, con más propiedad, de sentir.

Nosotros no conocemos los objetos sino por sus manifestaciones, y ciertamente los cuerpos no son la suma de las apariencias sensibles de sus componentes: son otra cosa, de cuya incógnita realidad nuestras percepciones son signos imperfectos ¡imperfectísimos!! Solo por los sentidos conocemos, pero las modificaciones de nuestra sensibilidad son un efecto, que multitud de causas pudieran producir. De la esencia de lo exterior, así, nada podemos afirmar.

Lícito es imaginar si las transformaciones materiales que dan lugar á los compuestos se verifican en virtud de fuerzas residentes en las últimas individualidades de las sustancias ponderables. Podrá discutirse si los fenómenos de la luz, de la electricidad, son efectos de movimientos de un medio imponderable, distinto de las moléculas corpóreas; podrá dudarse de las vibraciones transversales de la luz alrededor de una posicion media, cual si esas vibraciones estuviesen ligadas á esa posicion como las vibraciones aéreas á las moléculas de la atmósfera. Podrá estudiarse si todas las manifestaciones de la Energía son resultantes necesarias de los movimientos y presiones de ese incomprensible almacen de fuerza infinita, de ese inmenso medio elástico, que nos vemos obligados á considerar existente entre nosotros y las más apartadas nebulosas ¡y aun *plus ultra!* Podrá investigarse la naturaleza misma de la fuerza, si es solo el movimiento de la materia, como piensa el P. SECCHI, ó algo existente en la continuidad, con poder para cambiar las relaciones mecánicas, térmicas, eléctricas, magnéticas ó químicas de las moléculas ponderables. Podrá, por último, objetarse que nada se dice con todo esto, mientras no se explique y determine lo que haya de entenderse en absoluto por «facultad de producir cambios;» pero no cabe concebir la ESTÁTICA UNIVERSAL, porque para ello sería necesario admitir la desaparicion de todas las formas posibles de Energía, y éstas no son todas posibles simultáneamente, pues, para que unas desaparezcan, tienen que aparecer otras necesariamente.

Pero..... ¡nuestra ignorancia es muy grande para afirmacion tan categórica! ¡Verdad! Si apenas sabemos algunos hechos, ¿cómo nos atrevemos á generalizar?..... ¿Porqué el calor, la luz, la electricidad, el magnetismo, unas veces destruyen, y otras no, el edificio molecular? La luz atraviesa el cristal de roca sin descomponerlo; el fuego lo pone incandescente sin disgregarlo; pero esa misma luz excinde en la fotografía las sales de plata; y ese mismo fuego disocia el agua en hidrógeno y oxígeno. ¿Qué sabemos de las razones que haya para ALGO de esto? Verdaderamente nada: pero nuestra inopia científica no autoriza, sin embargo, la deduccion de la estática universal. Una cosa es ignorar pormenores, hechos, leyes y principios, y otra muy distinta invalidar observaciones indubitadas é inferencias naturales, que se imponen necesariamente á la razon. Tal es la CORRELACION de las fuerzas, su recíproca CONVERTIBILIDAD, su EQUIVALENCIA dinámica, y el consiguiente principio de la CONSERVACION de la Energía en medio de tanta VARIABILIDAD.

En fin, la GRAVITACION universal ensancha nuestras concepciones, sin dejarnos lugar á la hipótesis de que el universo llegue con el tiempo á la condicion de un gigantesco cadáver, á una inmensidad enteramente muerta, á una verdadera cesacion de movimiento y de vida, á una ¡CRISTALIZACION DEL INFINITO! La gravitacion parece tan propia para conser-

var los mundos, como para destruirlos y devolverles la existencia. Toda radiacion que vaya á la materia del Espacio, impedirá que su temperatura descienda lo que sin ella bajaria; y, cuando en época ignorada, ocurran colisiones entre los soles apagados ó encendidos de las regiones celestes, el recíproco impacto incalculable de los orbes creará nuevas nebulosas, génesis dinámicas de nuevos sistemas planetarios. Nuestras ideas, así, no conducen á la MUERTE, sino á la RENOVACION PERENNE de la vida, y nuestras concepciones cosmológicas gravitan irresistiblemente hácia la creencia en inacabables ciclos de exuberante REPRODUCCION de las formas de Energía desaparecidas, y subsiguiente gradual DISIPACION, alternados sin término ni fin.

## XII.

PICTET ha elaborado últimamente una teoría para el calor. Supone:

Simple al átomo gaseoso;

Compuesta á la molécula líquida, de 2 átomos gaseosos por lo ménos;

Y compuesta tambien á la molécula sólida, por lo ménos de otras 2 líquidas.

Y, por la amplitud de la oscilacion calorífica, explica:

Las leyes de MARIOTTE y GAY-LUSSAC conforme á las leyes de la mecánica;

Las anomalías de sus límites;

El tránsito de los líquidos á gases;

La escasa compresibilidad de los líquidos;

Su difusion y volatilizacion;

La rigidez, elasticidad y dureza, los ejes de cristalizacion, el alotropismo y el amorfismo de los sólidos;

El cero absoluto de la temperatura; el equilibrio térmico; el calor específico, y la ley de DULONG y PETIT;

La fusion, la evaporacion, el calor latente, la densidad, la tension de los vapores;

Y gran número de los fenómenos de la termo-química.

Y piensa, en fin, que de sus experimentos puede deducirse, no solo el tamaño de las moléculas, sino tambien la magnitud infinitesimal de los átomos.

# PARTE SEGUNDA.

## NUEVOS MEDIOS DE COMPRIMIR.

# LIBRO I.

---

## COMPRESION POLICILÍNDRICA.

# CAPITULO I.

## LOS ÉMBOLOS CONJUGADOS DEL SISTEMA DIFERENCIAL.

### I.

Para recoger, sin ningun fin concreto, especial y adjetivo la energía de las mareas (y, en general, de las olas, los vientos, las caidas de agua en los montes, y cualquiera clase de masas animadas de movimiento irregular); y para almacenar, por tiempo ilimitado, en aire comprimido la potencia recogida, aconseja el más somero estudio dar de lado, y como eludir y sortear las enormes resistencias finales que la ley de Mariotte entraña, cuando la reduccion de volúmen de una masa gaseosa se efectúa dentro de un cilindro por medio de un piston.

Esto es claro: á «igualdad de temperatura,» las densidades sucesivas de un gas están en razon inversa de las presiones que sufre (1). Luego, adoptado el sistema monocilíndrico, empleado universalmente hasta hoy, necesitamos ejercer presiones formidables para obtener el aire á una gran condensacion.

### II.

Sea un cilindro de solos $100^{c^2}$ en la base, y de $64^c$ en la altura: condensemos dentro de él, por medio de un piston, el aire atmosférico hasta dejar reducido su volúmen á la mitad: el aire comprimido estará entonces á 2 atmósferas; y la fuerza necesaria para la compresion será igual á dos veces 1 kilógramo por centímetro cuadrado, ó sea en números redondos,

$$2^k \times 100^{c^2} = 200^k \ (2).$$

---

(1) Se entiende hasta 100 atmósferas ó 120.....

(2) Esto no es más que una evaluacion provisoriamente aproximada: 1.º Porque la presion normal de la atmósfera sobre 1 metro cuadrado, es igual á $10332^k,96$. En la práctica se considera $= 10330^k$, ó en números redondos $1^k$ por centímetro cuadrado. 2.º Porque en todo piston de simple efecto, auxilia la atmósfera exterior ambiente, con la presion normal igual á $1^k,0333$ sobre cada centímetro cuadrado. Por lo tanto, ese esfuerzo, computado en $200^k$, quedará prácticamente reducido á 100 (en números redondos se entiende).

Sigamos comprimiendo ese aire, ya condensado á 2 atmósferas en el interior del cilindro. Cuando el piston haya terminado las $^3/_4$ de su viaje....., las $^7/_8$ partes....., las $^{63}/_{64}$ avas partes, las presiones que habrá habido que ejercer para cada respectiva condensacion, habrán sido

$$4^k \times 100^{c^2} = 400^k$$
$$8^k \times 100^{c^2} = 800^k$$
$$\dots\dots\dots\dots$$
$$64^k \times 100^{c^2} = 6400^k$$

Y, si descontásemos la presion atmosférica normal, que auxilia exteriormente al piston, tendríamos

$$(4^k - 1^k) \times 100^{c^2} = 300^k,$$
$$(8^k - 1^k) \times 100^{c^2} = 700^k,$$
$$\dots\dots\dots\dots$$
$$(64^k - 1^k) \times 100^{c^2} = 6300^k.$$

sin computar los rozamientos y demás resistencias pasivas, de que, para las consideraciones que vamos á exponer, habremos de prescindir.

Para tener, pues, aire á 64 atmósferas en tan exíguo cilindro, necesitaba la compresion un esfuerzo final nada ménos que de

$6^1/_3$ toneladas:

¡el peso de un cañon!

Los enormes esfuerzos finales que exigen las altas condensaciones, son el gravísimo inconveniente de la ley de MARIOTTE. Al condensar un gas se empieza por poco, como con todo resorte, y se acaba por mucho: á veces por muchísimo.

Al principio sobra siempre motor, por insignificante que fuere el adoptado: al fin, faltará siempre motor, como no se tengan en reserva grandes cantidades de movimiento.

Pero ¿cómo hacer frente á tan enorme dificultad? ¿Cómo eludirla, si ella rige en todos los dominios de la Pneumo-dinámica?

Prescindamos por el momento de la ley de GAY-LUSSAC; y admitamos que el calor exteriorizable queda absorbido por enérgicos medios frigoríficos. El lector supondrá CONSTANTEMENTE, tanto la circulacion de agua fria y su pulverizacion, cuanto los órganos necesarios al efecto. No dibujando estos órganos, quedarán muy simplificadas las figuras de esta obra, la atencion no se extraviará ni confundirá con detalles innecesarios; pero, en consecuencia, habrá que considerarlas como meros símbolos de demostracion, y nunca como planos á escala, propios para satisfacer las exigencias y pormenores de las construcciones técnicas.

## III.

Entremos en minuciosos análisis, SIEMPRE SUPONIENDO CONSTANTE LA TEMPERATURA, sean los que fueren los procesos de la condensacion.

Como ya he tenido ocasion de apuntarlo, la compresion del aire en un cilindro presenta dos períodos, que es esencial distinguir con el mayor cuidado:

El primer período es de PRESIONES CRECIENTES;

El segundo período es de PRESION CONSTANTE.

Supongamos, pues, que para un uso cualquiera queremos tener un vasto recipiente lleno de aire á 2 atmósferas.

Al efecto hagamos uso de un cilindro que mida $64^{c}$ de altura y $100^{c^2}$ de base, y supongamos que el piston baja, comprimiendo el aire CON SUMA LENTITUD, de manera que invierte un segundo en bajar cada centímetro.

Cuando el piston haya descendido á la division 63, el aire (que antes ocupaba 64 divisiones) se habrá condensado alguna cosa; y, puesto que ocupa $\frac{63}{64}$ del total espacio primitivo, será menester que, para vencer la resistencia que el gas presenta á su compresion, ejerzamos sobre él un esfuerzo igual á $\frac{64}{63}$ de atmósfera por *centímetro cuadrado;* ó bien $\frac{64}{63}$ de kilógramo (1).

Fig. 97.

Cuando el piston, bajando siempre, haya llegado á la division 62, el espacio ocupado por el aire comprimido será los $\frac{62}{64}$ del espacio primitivo total, y la presion, por consiguiente, será de $\frac{64}{62}$ de atmósfera por centímetro cuadrado....., ó sea de $\frac{64}{62}$ kilógramos.

Y así, sucesivamente, irán decreciendo los espacios y creciendo los esfuerzos, siempre recíprocamente en razon inversa, como manifiestan los siguientes quebrados:

| Espacios. | Presiones. |
|---|---|
| $\frac{61}{64}$ | $\frac{64}{61}$ de kilógramo por $c^2$ |
| $\frac{60}{64}$ | $\frac{64}{60}$ |
| $\frac{59}{64}$ | $\frac{64}{59}$ |

(1) Téngase presente siempre la nota anterior.

de forma que, cuando el piston haya llegado precisamente á la division 32, el espacio ocupado por el aire comprimido será la mitad del primitivo espacio total, $\left(=\frac{32}{64}\right)$ y la presion será doble que la normal de la atmósfera $\left(=\frac{64}{32}=2^{k}\right.$ por centímetro cuadrado).

Ahora bien: si continuase bajando el piston en las mismas condiciones indefinidamente, es claro que los espacios que ocupara el aire comprimido irian cada vez siendo menores; y mayores, por tanto, las resistencias, conforme á la ley de MARIOTTE (exacta hasta 100 atmósferas). Pero, como en cuanto hayamos llegado á obtener una densidad de 2 atmósferas, ya no necesitamos aumentar la compresion (segun la hipótesis de que nuestro vasto almacen ó recipiente no ha de llenarse más que con aire á esa densidad), evidente es que entonces pondremos nuestro cilindro en comunicacion con el almacen del aire condensado á 2 atmósferas; y solo tendremos que hacer el esfuerzo necesario para que el comprimido aire de nuestro cilindro vaya entrando en el capaz almacen.

Así, pues, el piston bajará desde 32 á 0, sin tener que vencer mayor presion que la de $\frac{64}{32}=2^{k}$ (ó sea de 2 atmósferas) por centímetro cuadrado (1), porque, á medida que el piston descienda, el aire comprimido á 2 atmósferas dentro de la mitad inferior del cilindro irá penetrando en el almacen del aire, donde el fluido se encuentra á la misma densidad (y cuya capacidad supondremos por ahora tan vasta que, comparada con la del cilindro, sea insignificante el volúmen de éste).



Fig. 98.

Se ve, pues, que el hecho práctico de la obtencion de aire á 2 atmósferas, consta, de 2 períodos bien distintos para un cilindro solo:

Uno de esfuerzos crecientes sin solucion;

Y otro de esfuerzos constantes;

El uno crece desde cero hasta 2 atmósferas, durante 32 segundos, ó sea desde cero hasta 2 kilógramos de presion por centímetro cuadrado;

Y el otro exige un esfuerzo invariable y permanente, igual á 2 atmósferas, durante los otros 32 segundos que constituyen la última mitad de la carrera del piston.

---

(1) En rigor se necesita alguna más, para vencer rozamientos, abrir válvulas, etc.; pero ya se sabe que en estas consideraciones se prescinde de toda resistencia pasiva, etc.

## IV.

Estudiemos la LEY DE LOS TIEMPOS.

Supongamos ahora que nuestro vasto almacen de aire contiene el gas á la densidad de 4 atmósferas, y no á la de 2, como hasta aquí hemos venido admitiendo.

Los esfuerzos serán CRECIENTES desde la division 64 hasta la 16, y CONSTANTES desde la 16 á la cero (*fig.* 99).

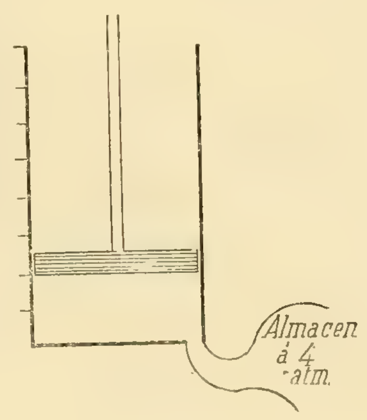



Fig. 99.

Si el almacen hubiera de llenarse de aire á 8 atmósferas, los dos períodos del trabajo constituirian:

Uno de esfuerzos crecientes, que duraria 56 segundos, invertidos por el piston en bajar del 64 al 8 (*fig.* 100);

Y otro de esfuerzo constante y de una duracion de 8 segundos, invertida por el mismo piston en bajar desde el 8 al cero.

Y así sucesivamente.

Por manera que, cuando queremos aire á 2 atmósferas, el período del

trabajo constante, dura $\frac{64}{2} = 32''$

Cuando á 4 atm., dura $\frac{64}{4} = 16''$

Cuando á 8 atm., dura $\frac{64}{8} = 8''$

Cuando á $n$ atmósferas, dura

$$\frac{\text{altura del cilindro}}{\text{número de atm.}} = m''$$

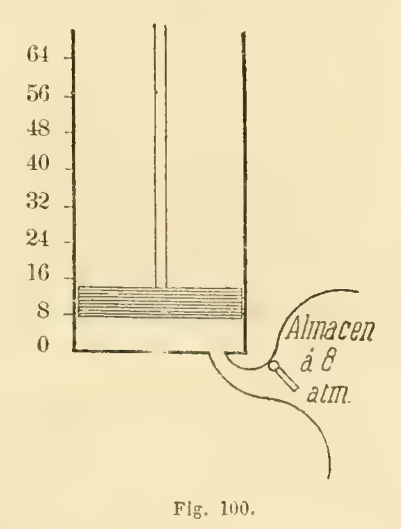



Fig. 100.

Ya tenemos la LEY DE LOS TIEMPOS DEL TRABAJO CONSTANTE: vamos ahora á la LEY DE LOS TIEMPOS DEL TRABAJO CRECIENTE.

Si comprimimos el aire á 8 atmósferas,

1.° El piston invierte $32'' \left(=\frac{64}{2}\right)$ en bajar de la division 64 á la 32 (ó, lo que es lo mismo, en condensar el aire desde 1 á 2 atmósferas).

2.° En recondensar hasta 4 atmósferas el aire ya condensado á 2 (ó sea en bajar desde la division 32 á la 16) invierte el piston 16 segundos $\left(=\frac{64}{4}\right)$.

Y 3.° En percondensar á 8 atmósferas el aire ya comprimido á 4 (ó bien en bajar desde 16 á 8) emplea el piston 8 segundos $\left(=\frac{64}{8}\right)$, etc.

El total de los segundos necesarios á la compresion y al almacenaje, se encuentra dividido en 4 espacios de tiempo para llegar hasta 8 atmósferas, como sigue:

| | | |
|---|---|---|
| $\frac{64}{2}$, ó sea 32″ para llegar de 1 á 2 at..... | | 56 segundos; tiempo del trabajo creciente. |
| $\frac{64}{4}$, ó sea 16″ para llegar de 2 á 4 at..... | | |
| $\frac{64}{8}$, ó sea 8″ para llegar de 4 á 8......... | | |
| y $\frac{64}{8}$, ó sea 8″ para el almacenage........ | | Tiempo del trabajo constante. |

Si quisiéramos aire á 64 atmósferas, el total de segundos estaria dividido como sigue:

| | | | |
|---|---|---|---|
| $\frac{64}{2}$ | en pasar de 1 á 2 atm........... | 32″ | 63 segundos; tiempo del trabajo creciente. |
| $\frac{64}{4}$ | de 2 á 4 .......... | 16″ | |
| $\frac{64}{8}$ | de 4 á 8 .......... | 8″ | |
| $\frac{64}{16}$ | de 8 á 16 .......... | 4″ | |
| $\frac{64}{32}$ | de 16 á 32 .......... | 2″ | |
| $\frac{64}{64}$ | de 32 á 64 .......... | 1″ | |
| $\frac{64}{64}$ | en almacenar el aire á 64 atm..... | 1″ | 1 segundo; tiempo del esfuerzo constante. |

Y, en general, si recorriendo un piston en tiempos iguales secciones iguales de la altura $n$ de un cilindro, queremos comprimir aire á $n$ atmósferas, tendremos que los 2 períodos, de esfuerzos crecientes y de esfuerzos constantes, estarán distribuidos como sigue:

1.er período de esfuerzos crecientes. $\frac{n}{2}+\frac{n}{4}+\frac{n}{8}+\ldots+\frac{n}{n}=n-1$

2.° período de esfuerzos constantes........................ $\frac{n}{n}=1$

*Suma de segundos*..... $= n$

Como los tiempos y los espacios tienen aquí la misma comun medida, podemos tomar los unos por los otros: de donde se deduce que, cuando un piston de movimiento uniforme comprime en un cilindro un gas de los obedientes á la ley de Mariotte, están las presiones en razon inversa de los espacios (ó de los tiempos); es decir, que para doble presion que la normal atmosférica, anda el piston la mitad de la altura del cilindro; para pasar de la doble á la cuádru-

ple presion, anda la cuarta parte; para pasar de la cuádruple á la óctuple, anda la octava parte.....

V.

De lo expuesto se deduce cuán deplorable mecanismo es para la condensacion del aire el generalmente empleado de un solo cilindro y su piston.

Un trabajo no varía cuando la resistencia aumenta y el camino disminuye en razon inversa, permaneciendo iguales los tiempos.

Pero, si los tiempos decrecen en la misma proporcion que los espacios, entonces los esfuerzos aumentan en razon inversa.

Segun la ley de Mariotte, para doblar la presion en un cilindro, tiene el piston que andar la mitad de la distancia que antes recorrió; lo que, si se hiciese en el mismo número de segundos que exigió la presion anterior, no requeriria doble esfuerzo en el motor; pero el esfuerzo tiene que ser doble que antes, por haber de ejecutarse el mismo trabajo en la mitad del tiempo. Se exige de un caballo que, cuando lleva doble carga, ande la mitad del camino en la mitad del tiempo. Doble carga y mitad de camino se compensan cuando los tiempos son iguales. Doble carga y mitad de camino, pero mitad de tiempo, requieren doble fuerza en el motor.

VI.

Antes de pasar adelante, conviene formar idea de los esfuerzos enormes á que da lugar esta ley de la disminucion de los tiempos (igual á la de los espacios) y aumento de las presiones en razon inversa.

Sea un cilindro de $64^c$ de altura, y de solos $10^{c^2}$ de base. Cuando el piston desciende del centímetro 64 al 32, la resistencia es igual á 2 kilógramos por cada centímetro cuadrado (1), es decir, que hay que comprimir el aire haciendo una fuerza de 20 kilógramos.

Cuando ha bajado á la division 16 y el gas está comprimido á 4 atmósferas, hay que empujar el piston con la fuerza de 40 kilógramos.

Cuando ha bajado á la 8, de 80 kilógramos.....

Y, así sucesivamente, si seguimos hasta la division 63, en que, estando el aire á 64 atmósferas (puesto que el gas ha quedado reducido á la 64 ava parte de la capacidad del cilindro) asciende la resistencia que debe vencer el piston á la enorme cantidad de 640 kilógramos.

$$10^{c^2} \text{ de la base} \times 64^k = 640^k$$

(que es el peso de 3 cañones de campaña).

---

(1) Recuérdese que, en rigor es $2^k,06$ por centímetro cuadrado.

Y esto, tratándose de un miserable cilindro, cuya base sería del tamaño de la *fig.* 101, ni más ni ménos.

¿Quién cargaria á un caballo con doble peso cuando tuviera que exigirle doble velocidad?.....

Y, sin embargo, así proceden los mecanismos de compresion existentes en nuestros laboratorios y en nuestras industrias.

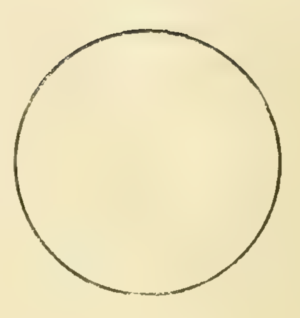


Fig. 101.

VII.

Una máquina buena de compresion cilíndrica ha de satisfacer á las siguientes condiciones:

1.° Ha de separar por completo los esfuerzos crecientes de la condensacion, y el trabajo de esfuerzo constante necesario para el almacenaje;

2.° Ha de hacer que los espacios y los tiempos sean todos iguales, es decir:

1.° Que el mismo espacio y el mismo tiempo deben invertirse en pasar desde la densidad normal de la atmósfera á su doble, que en pasar desde 2 atmósferas á la de 4; ó bien que en pasar desde 4 á 8, ó desde 8 á 16.....

Y 2.° Que el tiempo y el espacio correspondientes al almacenaje, sean iguales al tiempo y al espacio necesarios para pasar desde una densidad á su doble.

Pero ¿será esto posible?

Sí: muy fácilmente.

VIII.

Supongamos un sistema de cilindros como el que sigue (*fig.* 102).

Supongamos que cada uno de estos cilindros tenga su émbolo, y que ambos émbolos estén ligados ó conjugados entre sí, de modo que no pueda moverse el uno sin el otro (*fig.* 103).

Supongamos que en el fondo divisorio de los dos cilindros (*fig.* 104) haya una caja de estopas (ó un cuero embutido) que, sin impedir el juego del vástago, intercepte herméticamente la comunicacion entre los dos cilindros; y haya además en el círculo separatorio de ambos cilindros *aa*, una válvula que se abra desde el cilindro mayor hácia el menor.

Es evidente que, si rígidamente conjugados, caminan los émbolos desde el cilindro mayor hácia el menor, el aire que haya en el espacio *cccc* se irá cada vez comprimiendo más y más, y pasará por la válvula á ocupar el espacio *dddd*, que va dejando vacío la ascension del émbolo menor (*fig.* 105).

Continuando el movimiento de ambos émbolos conjugados, el espacio *cccc* irá sucesivamente haciéndose más reducido, hasta convertirse en cero; y el espacio *dddd* se irá agrandando más y más, hasta adquirir toda la capacidad del cilindro chico (descontando, por supuesto, el volúmen del émbolo menor) (*fig.* 106).

Admitamos ahora que la superficie circular del émbolo mayor sea doble que la del menor. Por ejemplo, el círculo del cilindro mayor tenga $64^{c^2}$, y el círculo base del cilindro menor tenga $32^{c^2}$: además, sea de $64^{c}$ la altura de ambos cilindros.

La capacidad del cilindro grande será de $4096^{c^3}$ ($64^{c^2} \times 64^{c} = 4096^{c^3}$), y la del chico será $2048^{c^3}$ ($32^{c^2} \times 64^{c} = 2048^{c^3}$).

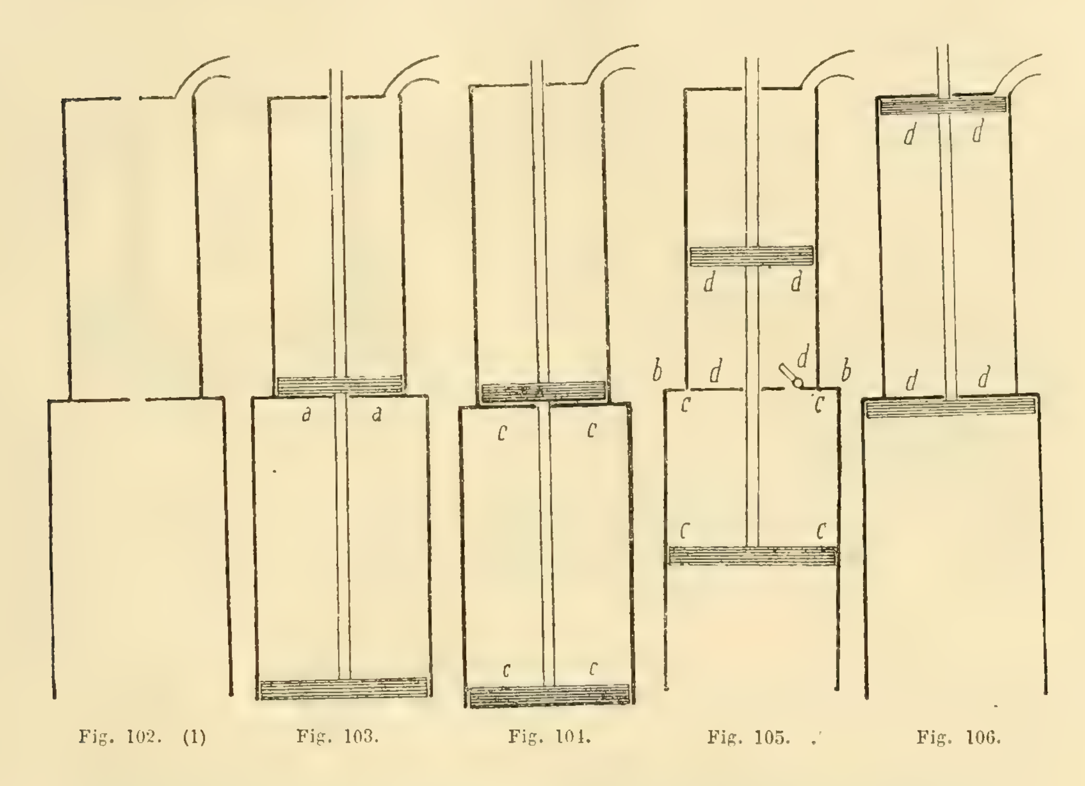



Fig. 102. (1) Fig. 103. Fig. 104. Fig. 105. Fig. 106.

Cuando, desde la posicion de la *fig.* 105, hayan llegado los émbolos conjugados á la posicion representada en la 106, todos los $4096^{c^3}$, que estaban en el cilindro grande, se hallarán ahora comprimidos en el cilindro chico; y, como éste tiene la mitad de capacidad que el mayor, claro es que, conforme á la ley de Mariotte, el aire estará en *dddd* á doble densidad que estaba en *cccc;* es decir, que si en *cccc* estaba el aire á 1 atmósfera, se hallará en *dddd* á 2 atmósferas de presion.

---

(1) Las figuras no estarán sujetas á escala (salvo raras excepciones): serán solo símbolos que hagan intuitiva la percepcion de lo que se vaya exponiendo, lo cual se dificultaria de otro modo, por no ser proporcionales á sus dimensiones lineales, las áreas de los círculos.

## IX.

Cuando en un solo aparato funcionan dos órganos, de los cuales el uno deshace en parte lo que el otro ejecuta, el aparato recibe el nombre de *diferencial.*

El tornillo de pasos diferenciales, llamado por los franceses *vis sans fin à roues différentielles,* la polea diferencial..... son ejemplos de estos mecanismos. Acaso ninguno haya tan conocido como el torno chino: por un lado el cilindro de mayor diámetro lía cuerda, y por otro deslía el menor, pero no en tanta cantidad, de modo que el fardo asciende en funcion de la diferencia.

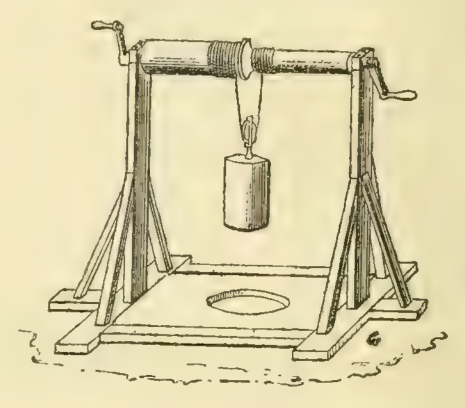


Fig. 107.

Pues bien: conviene desde ahora tener presente, para observaciones necesarias más adelante, que los émbolos conjugados son aparatos diferenciales: la disminucion de espacio que efectúa el émbolo mayor, es compensada *en parte* por el espacio que en el cilindro menor deja el émbolo más chico; por lo cual siempre la reduccion de capacidad es solo una diferencia.

## X.

Precísanos entrar en algunos pormenores para individualizar las resistencias, y los sitios donde se ejercen *en los émbolos conjugados.*

Por de pronto haremos notar que los esfuerzos han sido crecientes, sin solucion de continuidad, para conseguir que los émbolos pasen desde la posicion de la primera *figura* 104 á la posicion representada en la 106.

Estudiemos alguna de las posiciones intermedias.

Cuando los émbolos conjugados hayan sido compelidos por una fuerza suficiente á tomar la posicion que expresa la *figura* 108, el aire que ocupa el espacio comprendido entre los émbolos estará ya comprimido. Pero las presiones contra las superficies cilíndricas, como las $a\,a'$, se destruirán completamente por ser iguales y contrarias.

Tambien se anularán (destruidas por la rigidez del vástago que conjuga los dos émbolos) las presiones $c\,c$..... y $c'c'$..... ejercidas, por un lado, contra todo el émbolo menor, y, por otro lado, antagónicamente contra una cierta área del émbolo mayor, la cual es igual precisamente al émbolo menor.

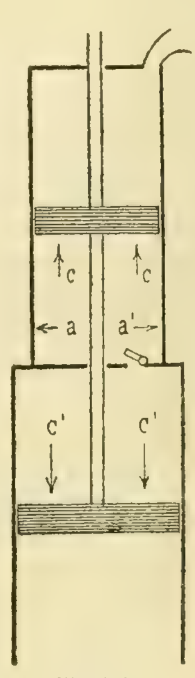



Fig. 108.

Solo quedan sin destruir las presiones que el aire comprimido ejerce contra el resto del área del émbolo mayor. Pero, si del área de un círculo restamos el área de otro círculo concéntrico menor, nos quedará un ánulo (ó corona).

Todas las presiones, pues, se anulan contra la rigidez de los materiales, exceptuando:

1.° Las ejercidas por el aire comprimido contra el ánulo *oo, oo*..... (diferencia entre las bases de los dos cilindros),

Y 2.° Contra el ánulo *o'o', o'o'*..... (diferencia entre las superficies de los dos émbolos).

Las presiones indicadas por las flechas *ff*, no teniendo nada que las contrareste, harán que el ánulo móvil *o'o', o'o'*..... huya del ánulo fijo *oo, oo*....., á no ser que lo impida una fuerza suficiente.

Y ¿cuánta es la superficie del ánulo *o'o', o'o'*.....?

Segun nuestras hipótesis, es de $32^{c^2}$; porque el émbolo mayor es $= 64^{c^2}$, y el menor á $= 32^{c^2}$.

Por consiguiente:

Cuando los dos émbolos estén casi terminando su carrera tendremos:

1.° Comprimido á 2 atmósferas, dentro del cilindro menor, todo el aire que habia en el cilindro mayor;

2.° La presion, no destruida, contra el ánulo *o'o', o'o'*....., que es $= 64^k$; $(32^{c^2} \times 2^{at} = 64^k)$.

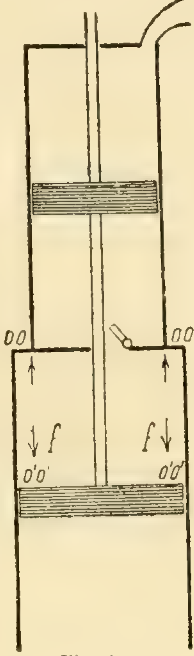


Fig. 109.

XI.

Comparemos este resultado con los de un solo cilindro, cuya base circular tenga la misma superficie que el mayor de nuestros 2 émbolos conjugados, es decir, $64^{c^2}$. La altura de este cilindro será tambien de $64^c$; y el volúmen de aire contenido en este cilindro resultará, como antes, igual á $4096^{c^3}$.

Cuando el émbolo haya bajado hasta la division 32, el aire comprimido estará á 2 atmósferas; y, por consiguiente, tendremos que vencer una resistencia igual á $2^k$ por centímetro cuadrado; y, como el piston tiene $64^{c^2}$, habrá que empujar el piston con una fuerza igual á $128^k$; $(64^{c^2} \times 2^{at} = 128^k)$.

Con los émbolos conjugados ya hemos visto que hemos necesitado ménos esfuerzo; justamente la mitad: 64 kilógramos.

Pero ¿cómo puede suceder esto? ¿Qué significa eso de ahorrar esfuerzo?

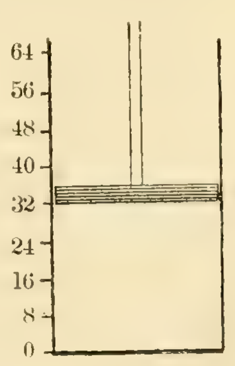


Fig. 110.

La respuesta es bien sencilla: con émbolos conjugados doblamos el tiempo destinado á la compresion del aire.

En efecto:

Cuando no hay más que un solo piston, la compresion hasta 2 atmósferas se hace (segun las consabidas hipótesis) en el espacio de 32 segundos; al paso que, cuando hay dos émbolos conjugados, no se obtiene igual condensacion hasta que el sistema ha finalizado toda su carrera, es decir, en 64 segundos. En el primer caso, el piston baja solamente 32ᶜ; en el segundo, los émbolos conjugados suben 64ᶜ. *(figs.* 111 *y* 112).

Invirtiéndose, pue s, doble tiempo, y recorriéndose doble espacio por los émbolos conjugados que por el piston, tendrá que ser menor (la mitad) el esfuerzo necesario para subir los dos émbolos, comparado con el esfuerzo necesario para bajar el piston.

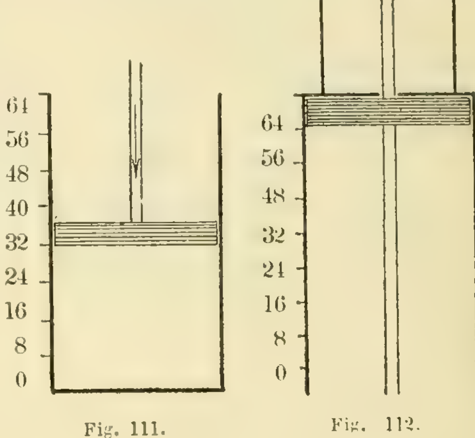



Fig. 111. Fig. 112.

## XII.

Visto lo que sucede con émbolos conjugados para el trabajo creciente del comprimir, veamos ahora lo que sucederá para el trabajo constante del almacenar.

Ya debemos decir que los émbolos conjugados tienen válvulas que funcionan en el mismo sentido que la válvula anteriormente mencionada. Solo que la válvula $v$ se cierra cuando los émbolos bajan, y las $v'$ y $v''$ cuando los émbolos suben.

Al bajar los émbolos conjugados, el mayor tiende á hacer el vacío en su cilindro, y simultáneamente se cierra la válvula $v$, que ponia en comunicacion ambos cuerpos de bomba, y se abre la válvula $v'$, por la cual entra nuevo aire desde la atmósfera al interior del cilindro grande. Y tambien se abre la válvula $v''$, pero por causa distinta: al bajar el émbolo chico, se comprime un poco más todavía el aire que á 2 atmósferas encerraba el cilindro menor; y vence la presion antagonista del

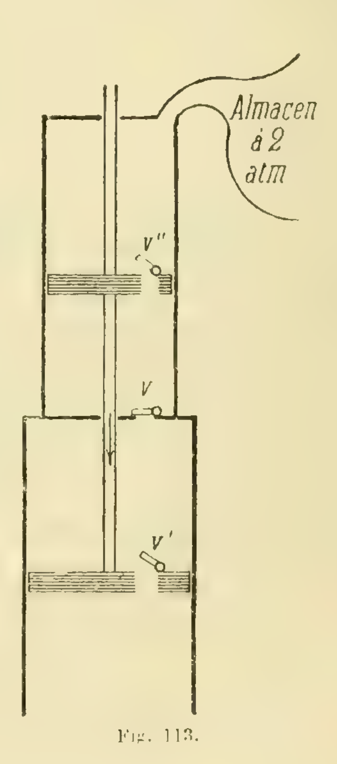



Fig. 113.

aire del almacen, que, como ya tenemos indicado, no pasa de 2 atmósferas (pues por medios adecuados, no dichos, suponemos mantenido á presion constante el aire del almacen).

Durante el descenso

1.° Se llena de aire (aspirado á la atmósfera que nos rodea) el cilindro mayor,

Y 2.° Se coloca al otro lado del émbolo chico el aire á 2 atmósferas, comprimido en el espacio comprendido entre ambos émbolos al finalizar la carrera ascensional del sistema conjugado (en nuestras figuras, el aire comprimido que estaba por debajo del émbolo menor, pasa á colocarse por encima cuando bajan ambos émbolos).

Dados estos antecedentes, completemos la descripcion de los fenómenos que ocurren al subir los émbolos.

Las válvulas de los dos se cierran; ábrese la que pone en comunicacion ambos cilindros; y, en seguida, se verifica el trabajo de esfuerzos crecientes, de que ya hemos hablado, y que no tenemos para qué repetir.

Pero debemos agregar que el émbolo chico constantemente empuja y mete en el almacen el aire que tiene encima á 2 atmósferas, para lo cual tiene que andar $64^{c}$ en $64^{s}$, venciendo una resistencia constante de $2^{k}$ por centímetro cuadrado, ó sea en junto, una resistencia de $64^{k}$, puesto que el émbolo menor tiene una superficie de $32^{c^2}$.

## XIII.

Comparemos nuevamente el sistema monocilíndrico con el conjugado.

¿Qué resistencia tiene que vencer el piston del cilindro único para almacenar el aire ya condensado á 2 atmósferas? Tiene que contrarestar una resistencia igual á $128^{k}$ ($64^{c \text{ de la base}} \times 2^{at} = 128^{k}$), durante los $32^{s}$ que tarda en bajar la segunda mitad del cilindro desde la division 32 á la division cero.

Y ¿cuál vence el émbolo menor del sistema conjugado? Ya lo hemos visto; $64^{k}$: la mitad que el piston del sistema monocilíndrico; pero si, tiene ménos kilógramos que contrarestar, tambien tiene más camino que andar: precisamente en razon inversa: la mitad en peso, pero el doble en espacio.

Así, pues, en los últimos momentos de la compresion, y solamente entonces, cuando el aire condensado está ya á 2 atmósferas, ó casi, necesitamos con los 2 émbolos conjugados emplear una fuerza capaz de vencer la resistencia de 128 kilógramos, á saber:

| | | | |
|---|---|---|---|
| $32^{c^2}$ del ánulo | $\times 2^k =$ | $64^k$ | que es el máximum esfuerzo del trabajo creciente. |
| $+\ 32^{c^2}$ del émbolo menor | $\times 2^k =$ | $64^k$ | resistencia constante al almacenaje, la cual dura $64^s$. |
| *Total de ambos esfuerzos en los últimos instantes de la comp.* | | $128^k$ | |

Y para vencer la resistencia máxima que presenta un solo piston en un solo cilindro (que es la del almacenaje), necesitamos durante 32 segundos una fuerza tambien de 128 kilógramos,

$$64^{c^2} \text{ de la base del piston} \times 2^{at} = 128^k.$$

¿Qué ventaja, pues, hemos obtenido al hacer la condensacion del aire á 2 atmósferas por medio de nuestros dos émbolos conjugados, cuando necesitamos ejercer el mismo esfuerzo final de 128 kilógramos, tanto en el sistema conjugado como en el sistema monocilíndrico?

En primer lugar, debe observarse que con los 2 émbolos solo necesitamos el esfuerzo de los $128^k$ en el último instante de la compresion, mientras que con un solo cilindro necesitamos una fuerza constante de $128^k$ durante 32 segundos; y de cierto sería incapaz de vencer durante 32 segundos una resistencia constante de $128^k$ un motor de ménos potencia que esa (por ejemplo de 120 kilógramos), el cual sería capaz de vencer la resistencia presentada en un solo instante por los 128 kilógramos, si antes (cuando solo se necesitaron durante el período de esfuerzos crecientes empujes mucho menores que 120 kilógramos) se hubiese depositado cierta cantidad de la fuerza de ese motor en la masa de un volante.

La sola distribucion de los esfuerzos pudiera ya presentar grandes ventajas en favor de los 2 émbolos conjugados, que fueran imposibles de obtener por medio de un solo piston en un solo cilindro.

Y, en segundo lugar, puesto que toda compresion desarrolla siempre una gran cantidad de calor, ¿no podria haber conveniencia,—y grande,—en efectuar la condensacion con doble lentitud en un caso que en otro?

## XIV.

Pero las sorprendentes ventajas de los embolos conjugados no han aparecido todavía.

No nos limitemos á condensar aire á 2 atmosferas: recondensémoslo hasta 4, y hagámoslo por medio de 3 cilindros conjugados, todos de $64^c$ de

altura, y cuyas bases desiguales sean entre sí : : 4 : 2 : 1 (*fig.* 114).

El cilindro de más capacidad tendrá, pues, $64^{c^2}$ de base como antes;

El mediano $32^{c^2}$;

Y el menor $16^{c^2}$.

Los 3 émbolos poseen válvulas (no indicadas en el dibujo) que se abren hácia arriba cuando los émbolos bajan.

Los fondos, ó círculos divisorios de los cilindros, tienen igualmente válvulas (tampoco indicadas) que se abren asimismo hácia arriba, cuando los émbolos suben.

Cajas estoperas, ó cueros embutidos, ó anillos metálicos, incomunican herméticamente los cilindros entre sí, sin impedir, por supuesto, el movimiento de los vástagos conjugadores.

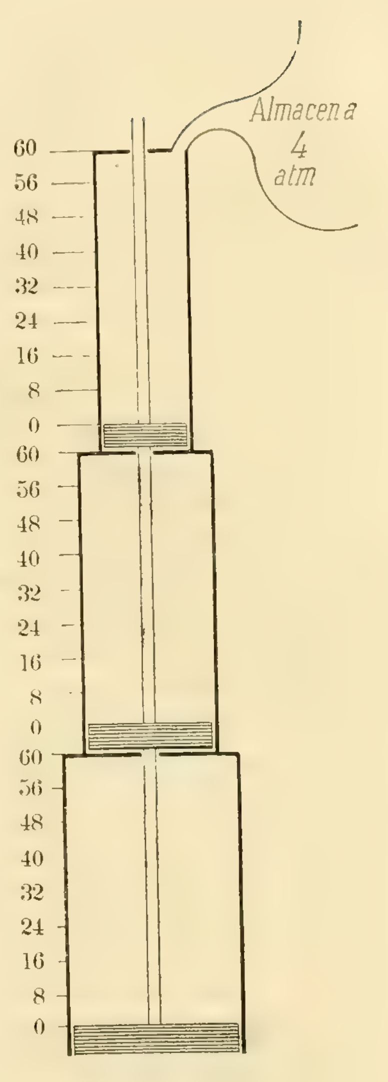


Fig. 114.

| | |
|---|---|
| El primer cilindro tiene. | $4096^{c^3}$ |
| El segundo........... | $2048^{c^3}$ |
| El tercero............ | $1024^{c^3}$ |

A la primera ascension del sistema conjugado de los 3 émbolos, los $4096^{c^3}$ del cilindro mayor quedan encerrados en el cilindro intermedio, ocupando la mitad del espacio primitivo, esto es, $2048^{c^3}$; y, por consiguiente, á la densidad de 2 atmósferas.

A la primera bajada se vuelve á llenar de aire de la atmósfera el cilindro mayor, y los $2048^{c^3}$ de aire (primitivamente 4096) que estaban por debajo del émbolo intermedio, pasan á colocarse por encima, siempre en el segundo cilindro.

A la segunda ascension, los segundos $4096^{c^3}$, nuevamente entrados en el cilindro mayor, pasan á reducirse al volúmen de $2048^{c^3}$ en el cilindro intermedio por debajo de su émbolo; y los primitivos $4096^{c^3}$ (que en este segundo cilindro se hallan ya por encima de su piston, reducidos al volúmen de 2048) pasan al tercer cilindro (que es el menor) á reducirse á la capacidad de $1024^{c^3}$; ó, lo que es lo mismo, á la cuarta parte del volúmen inicial primitivo, y, por consiguiente, á tomar la densidad de 4 atmósferas.

A la segunda bajada se llena otra vez de aire de la atmósfera el cilindro mayor, y sube á colocarse respectivamente por encima de los émbolos mediano

y menor, el aire que por debajo de ellos se encuentra, condensado y recondensado en sus correspondientes cilindros, á $2^{atm}$ y $4^{atm}$ respectivamente.

A la tercera ascension, los $4096^{c^3}$ de aire últimamente tomados á la atmósfera que nos rodea, pasan á colocarse en el cilindro intermedio por debajo de su émbolo, reduciéndose naturalmente al volúmen de $2048^{c^3}$: los $2048^{c^3}$ (antes 4096), situados por encima del émbolo mediano y en su cilindro, suben al cilindro menor á colocarse por debajo de su émbolo (el menor), reduciéndose, por supuesto, á la mitad de la mitad del volúmen inicial, es decir, á $1024^{c^3}$, ó sea percondensándose á $4^{atm}$; y los $1024^{c^3}$ (que constituyeron los primeros $4096^{c^3}$), situados por encima del émbolo menor, pasan, con la densidad de $4^{atm}$, al almacen de aire preparado al efecto. Y así sucesivamente.....

Estudiemos ahora las presiones entre el tercer cilindro y el segundo.

Todas las presiones se destruyen en su interior (por lo mismo que antes hemos expuesto), exceptuando las del ánulo, diferencia entre el cilindro mediano y el menor, y su correspondiente superficie igual en el émbolo mediano. El émbolo mediano tiene $32^{c^2}$; el menor tiene $16^{c^2}$: luego la diferencia entre los dos émbolos, ó sea la superficie del ánulo, igual á la diferencia de las bases del cilindro segundo y el tercero, es igual á $16^{c^2}$.

Luego en los últimos momentos de cada ascension queda sin destruir una presion de $4^{atm}$ sobre $16^{c^2}$ (que es la superficie anular del segundo émbolo, la cual resiste á la compresion del aire á $4^{atm}$).

Por consiguiente, tendremos, como máximum, en el último momento de cada ascension de los émbolos conjugados, y solamente entonces, lo que sigue:

1.° Resistencia, á $2^{atm}$, sobre la primera corona de $32^{c^2}$ (diferencia entre la superficie circular del primer émbolo y el segundo).......= $64^k$

2.° Resistencia, á $4^{atm}$, sobre la segunda corona de $16^{c^2}$ (diferencia entre la superficie circular del segundo émbolo y el tercero).......= 64

3.° Resistencia al almacenaje, á razon de $4^{atm}$ sobre el tercer émbolo de $16^{c^2}$ (la cual ha sido constante desde el primer instante hasta el último, y ha durado $64^s$)........................................ 64

*Total de la resistencia final*.....= $192^k$

Comparemos ahora este resultado con el análogo de un solo piston y un solo cilindro.

Resistencia máxima (que es la del almacenaje) durante los $16^s$ invertidos por el piston en bajar de la division 16 á la cero, $64^{c^2} \times 4^{atm}$...= $256^k$

Para comprimir, pues, $4096^{c^3}$ de aire á $4^{atm}$ en el cilindro único, se necesita una fuerza constante de $256^k$ durante $16^s$, mientras que, con los 3 émbolos conjugados, únicamente se requieren durante el solo momento final........................................ $192^k$

*Diferencia en ahorro*..... $64^k$

## XIV.

Prosigamos.

Vamos ahora á condensar aire hasta 8 atmósferas con 4 cilindros conjugados (1).

Todos tienen $64^c$ de altura;

Las bases son entre sí

$$:: 8 : 4 : 2 : 1$$

Tenga el $1^{er}$ cilindro, por base, $64^{c^2}$
Tendrá, por tanto, el 2.° $32^{c^2}$
el 3.° $16^{c^2}$
el 4.° $8^{c^2}$

Y, conforme con lo expuesto (convenientemente generalizado), resultará en los últimos momentos de cada ascension de los émbolos conjugados, lo que sigue:

| | |
|---|---|
| Resistencia, á $2^{atm}$, sobre la 1.ª corona de $32^{c^2}$ (diferencia entre el $1^{er}$ émbolo y el 2.°)= | $64^k$ |
| Resistencia, á $4^{atm}$, sobre la 2.ª corona de $16^{c^2}$ (diferencia entre el 2.° émbolo y el 3.°)= | 64 |
| Resistencia, á $8^{atm}$, sobre la 3.ª corona de $8^{c^2}$ (diferencia entre el $3^{er}$ émbolo y el 4.°)= | 64 |
| | $192^k$ |
| Resistencia al almacenaje, á razon de $8^{atm}$, sobre el 4.° émbolo de $8^{c^2}$ (la cual, no solo se ejerce al final de la ascension, sino que ha durado los $64^s$ de la ascension de todo el sistema conjugado). . . . | $64^k$ |
| *Total de esfuerzos necesarios en el instante final*. . . . . . . . . . . . . . . . | $256^k$ |

Ahora bien: si comparamos este resultado del sistema policilíndrico con el de la resistencia al

Fig. 115.

(1) Supónganse como antes en los fondos divisorios de los cilindros y en los émbolos las válvulas no dibujadas.

Las cosas en la práctica, por el juego especial de las válvulas, no pasarian enteramente la vez primera como estamos explicando.

almacenaje en el sistema monocilíndrico (que es la máxima y dura 8ˢ), nos encontraremos con una decidida ventaja á favor de los émbolos conjugados.

---

La práctica exigirá alguna pequeña cosa más de la calculada para vencer la resistencia pasiva de las correspondientes válvulas. Prescindamos de todo esto por ahora.

Bien se echa de ver lo poco á escala que están dibujadas las figuras.

Y no porque fuera difícil presentar las verdaderas dimensiones, sino por lo que éstas perturbarian el concepto imaginativo.

Hé aquí la representacion geométrica de varios émbolos sucesivos, segun la razon 2.

Los cuadrados de la siguiente figura simbolizan 6 émbolos

$$:: 64 : 32 : 16 : 8 : 4 : 2$$

siendo los lados $:: 8 : 4\sqrt{2} : 4 : 2\sqrt{2} : 2 : \sqrt{2}$

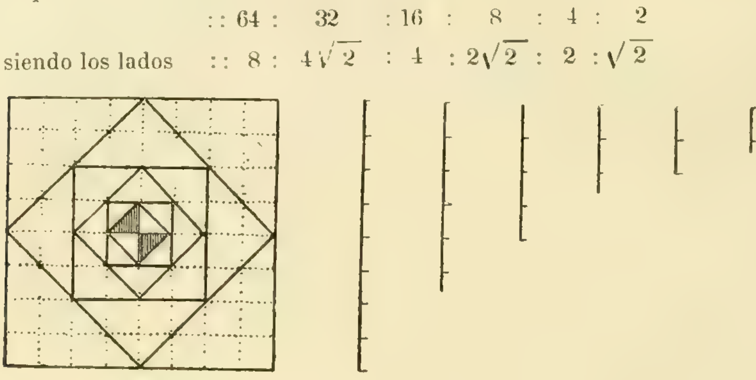


Fig. 116.

Los lados de los cuadrados no son, ni con mucho, el doble los unos que los otros; mientras que lo son los cuadrados consecutivos, segun es fácil de ver tomando como módulo superficial el triángulo



Fig. 117.

El 1ᵉʳ cuadrado $\left(= (\sqrt{2})^2\right)$ tiene 4 triángulos-módulo;

El 2.º cuadrado $\left(= (2)^2\right)$ tiene 8;

El 3.º ......... $\left(= (2\sqrt{2})^2\right)$ tiene 16, etc.

Corolario. Los círculos de los émbolos conjugados cuyos radios sean

$$:: \sqrt{2} : 2 : 2\sqrt{2} : 4 : 4\sqrt{2} .....$$

serán dobles sucesivamente, como lo son los cuadrados formados con esas líneas. Nada más fácil, pues, que encontrar geométricamente los radios respectivos, y, por consiguiente, dibujarlos.

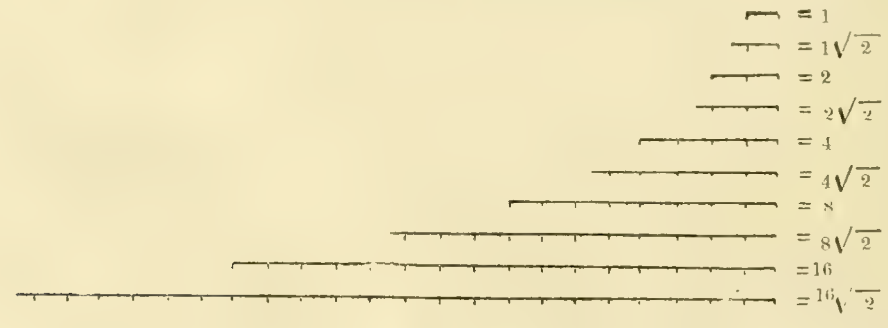



Fig. 118.

En efecto, la resistencia al almacenaje en el sistema monocilíndrico es

$$64^{c^2} \text{ de la base} \times 8^{atm} = 512^{k},$$

justamente el doble que con el sistema policilíndrico. Y esto durante $8^{s}$ que invertiria el piston único de $64^{c^2}$ en descender desde la division 8 á la division cero, al paso que los 4 émbolos conjugados solo requeririan el esfuerzo de los $256^{k}$, durante el único instante de la condensacion final.

## XV.

Con 5 cilindros conjugados de $64^{c}$ de altura, y respectivamente de $64^{c^2}$, $32^{c^2}$, $16^{c^2}$, $8^{c^2}$ y $4^{c^2}$ para bases, destinados á condensar aire hasta $16^{atm}$, resultarian las resistencias finales que siguen:

| | | |
|---|---|---|
| 1.ª corona de $32^{c^2} \times 2^{atm}$ ............ | = | 64 |
| 2.ª corona de $16^{c^2} \times 4^{atm}$ ............ | = | 64 |
| 3.ª corona de $8^{c^2} \times 8^{atm}$ ............ | = | 64 |
| 4.ª corona de $4^{c^2} \times 16^{atm}$ ............ | = | 64 |
| | | $256^{k}$ |
| Almacenaje del aire, durante $64^{s}$ sobre un émbolo de $4^{c^2}$, que tiene que vencer una resistencia constante de $16^{atm}$ ............ | = | 64 |
| *Total en el último instante*..... | = | $320^{k}$ |
| Resistencia al almacenaje en el sistema monocilíndrico, durante $4^{s}$. | = | |
| $64^{c^2}$ de la base del piston $\times 16^{atm}$ ............ | = | 1024 |

Más de tres veces que con la conjugacion.

## XVI.

Para obtener aire á $32^{atm}$ con 6 cilindros conjugados de $64^{c}$ de altura y 6 base respectivamente de

$$64^{c^2},\ 32^{c^2},\ 16^{c^2},\ 8^{c^2},\ 4^{c^2} \text{ y } 2^{c^2}.$$

tendríamos como máximum, durante el último instante de la ascension (1), lo que sigue:

| | | |
|---|---|---|
| 1.ª corona de $32^{c^2} \times 2^{atm}$ | = | $64^k$ |
| 2.ª corona de $16^{c^2} \times 4^{atm}$ | = | 64 |
| 3.ª corona de $8^{c^2} \times 8^{atm}$ | = | 64 |
| 4.ª corona de $4^{c^2} \times 16^{atm}$ | = | 64 |
| 5.ª corona de $2^{c^2} \times 32^{atm}$ | = | 64 |
| | | $320^k$ |
| Almacenaje durante $64^s$; (superficie del émbolo menor $= 2^{c^2}) \times (32^{atm})$ | = | 64 |
| *Resistencia total en el último momento* | = | $384^k$ |

Sistema monocilíndrico:

Resistencia máxima durante $2^s$; $64^{c^2} \times 32^{atm}$ .................. = 2048

¡Más de 2 toneladas! ¡Más de 5 veces que en el sistema conjugado!

## XVII.

Tal vez sorprendan, á primera vista, estos ahorros de esfuerzo, que tan favorables aparecen á los émbolos conjugados.

Pero nada más natural; y, sin perjuicio del estudio detallado de la cuestion, haremos por de pronto notar que á presiones

: : ..... 2 : 4 : 8 : 16 : 32 : 64.....

los émbolos conjugados oponen coronas

: : ..... 32 : 16 : 8 : 4 : 2 : 1.....

de modo que el producto de los términos correspondientes es siempre = 64; número que precisamente expresa la resistencia final experimentada por cada corona.

Por otra parte, con el sistema monocilíndrico, el almacenaje se hace en

(1) Los cilindros conjugados pudieran no estar verticales, en cuyo caso serían sumamente impropias las expresiones SUBIDA y BAJADA de los émbolos; á ménos de no entender por ASCENSION, marcha de los émbolos desde el cilindro mayor hácia el menor, y por BAJADA, marcha en sentido inverso. En Geometría sucede lo análogo. Altura de un cilindro...., es siempre la distancia entre las bases, aunque el eje se halle horizontal, etc.....

brevísimos momentos, justamente cuando la condensacion es enorme; mientras, sea la que quiera la densidad del gas, siempre, cuando se apela al sistema conjugado, se invierten en el almacenaje $64^s$ (en metros supuestos).

Con un solo piston el aire es almacenado

en $32^s$, cuando la densidad es de $2^{atm}$;
en $16^s$, cuando la densidad es de $4^{atm}$;
en $8^s$, cuando la densidad es de $8^{atm}$;
en $4^s$, cuando la densidad es de $16^{atm}$;
en $2^s$, cuando la densidad es de $32^{atm}$;
en $1^s$, cuando la densidad es de $64^{atm}$, etc.

Pues, si siempre es una misma la cantidad de centímetros cúbicos que, á una presion dada, debemos almacenar, ya sea que nos valgamos del sistema monocilíndrico usual, ya sea que recurramos al sistema policilíndrico que tenemos en estudio, ¿no es evidente que para hacer el propio trabajo en breve tiempo, necesitaremos acumular más esfuerzo que para realizarlo en un tiempo mucho más largo, y que los esfuerzos indispensables al efecto han de estar en razon inversa de los tiempos?

Si en nuestros ejemplos ha sido constantemente de 4096 el número de centímetros cúbicos que hemos tratado de comprimir, ya por el sistema monocilíndrico, ya por el conjugado, ¿no es claro que cuando hayamos querido condensarlos desde $32^{atm}$ á $64^{atm}$ en 1 segundo, habremos necesitado una fuerza 64 veces mayor que cuando hayamos realizado igual tarea en 64 segundos, ó sea en un tiempo 64 veces mayor?

## XVIII.

### *Del auxilio atmosférico.*

El sistema policilíndrico no funciona en el vacío, sino en la atmósfera (lo mismo que el sistema monocilíndrico).

Y, como la atmósfera ofrece una presion de $1^k$ sobre cada centímetro cuadrado (1), resulta que de los esfuerzos anteriores debe siempre desquitarse el auxilio atmosférico.

(1) Ya hemos visto que la presion normal es de $1^k,0333$. No se olvide este dato si se aspira á una extricta exactitud.

Así, cuando en el sistema monocilíndrico baja el piston á la division 32, y los $4096^{c^3}$ quedan reducidos á la mitad de volúmen (con densidad doble, por supuesto), entonces la resistencia interior es efectivamente de $2^{atm}$ é igual á $128^k$;

$$64^{c^2} \times 2^{atm} = 128^k;$$

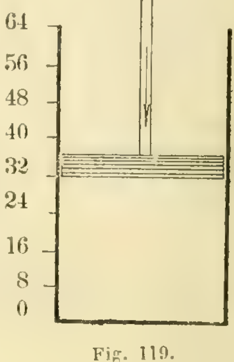


Fig. 119.

pero el esfuerzo que debe desarrollar el motor es solo de $64^k$; porque la atmósfera ambiente ayuda por la parte externa con 1 kilógramo por centímetro cuadrado; ó, lo que es lo mismo, empuja de arriba abajo al piston con una potencia de otros $64^k$.

Por causa, pues, del auxilio atmosférico, cuando el piston baja á la division 16, á la division 8, á la division 4...., las presiones son respectivamente:

*Presion interna menos Presion externa.*

$$(64^{c^2} \times 4^{atm}) - (64^{c^2} \times 1^{atm}) = 64^{c^2} (4^{atm} - 1^{atm}) = 64^{c^2} \times 3;$$
$$(64^{c^2} \times 8^{atm}) - (64^{c^2} \times 1^{atm}) = 64^{c^2} (8^{atm} - 1^{atm}) = 64^{c^2} \times 7;$$
$$(64^{c^2} \times 16^{atm}) - (64^{c^2} \times 1^{atm}) = 64^{c^2} (16^{atm} - 1^{atm}) = 64^{c^2} \times 15.$$

De modo que, en la práctica, el esfuerzo máximo, que es el necesario al almacenaje, es igual al número de atmósferas á que queremos llevar la condensacion, ménos uno.

$$\text{Area del piston} \times (n^{atm} - 1) = \text{Presion interna á } n^{atm}.$$

Claro es tambien que este auxilio de la atmósfera ambiente, igual á $1^k$ por centímetro cuadrado, tiene que descontarse de los esfuerzos sucesivamente crecientes de la condensacion del aire. (Ya entraremos más en pormenores.)

Estudiemos ahora el auxilio atmosférico en el sistema policilíndrico.

Con nuestros émbolos conjugados, el almacenaje se hace siempre por la atmósfera exterior, porque, sea la que quiera la condensacion á que deseemos llegar, la resistencia del almacen sobre el émbolo más chico es igual en kilógramos al esfuerzo que en kilógramos hace el aire que nos rodea sobre el émbolo mayor.

En la *figura* 120 es el esfuerzo constante necesário para el almacenaje $= 32^{c^2} \times 2^{at} = 64^m$

En la *figura* 121 es el esfuerzo $= 16^{c^2} \times 4^{at} = 64^m$.

En la *figura* 122 es el esfuerzo $= 8^{c^2} \times 8^{at} = 64^m$.

Y el auxilio atmosférico es tambien de $64^m$ en todas ellas.

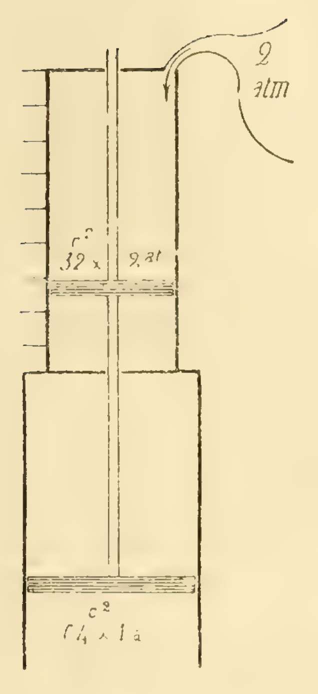


Fig. 120.

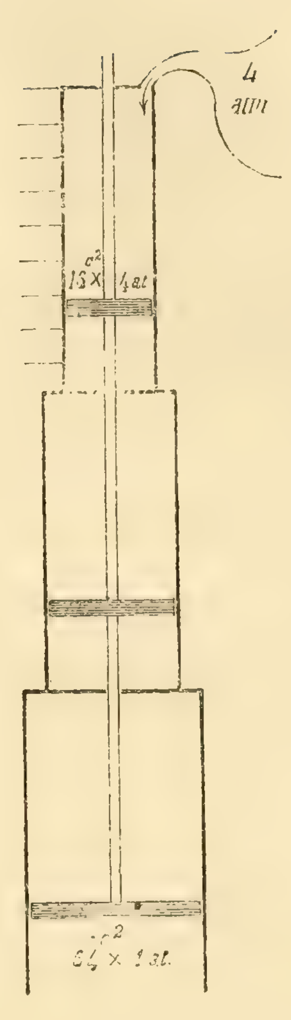


Fig. 121

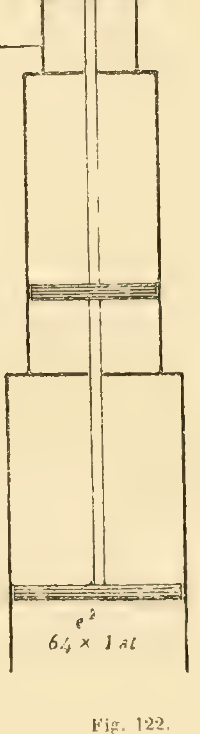


Fig. 122.

Y, en general, como los émbolos menores están en razon inversa de las presiones, siempre el trabajo constante del almacenaje se hará á costa de la presion que en el émbolo mayor realiza la atmósfera ambiente : por manera que, de aquí en adelante podemos prescindir en nuestros cálculos de la fuerza necesaria al almacenaje, y cuidarnos solamente del trabajo de esfuerzos crecientes que requiere la condensacion.

Y esto es general para toda clase de émbolos conjugados decrecientes en razon geométrica.

Si la razon fuese 3, y los émbolos tuviesen bases

:: 27 : 9 : 3,

la presion al almacenaje sería de 9 atmósferas sobre el piston menor: y el

producto $3^{c^2} \times 9^{atm}$ sería igual al producto de los $27^{c^2}$ del émbolo mayor $\times 1^{at}$, segun evidencia la *figura* 125.

De lo expuesto se deduce la siguiente regla (en que se prescinde del almacenaje).

El esfuerzo final es, con émbolos conjugados, y en general, igual al producto de 3 factores:

(Una corona cualquiera) $\times$ (por la presion final que soporta) $\times$ (por el número de cilindros conjugados menos 1).

Cuando la razon es 2, esta regla puede enunciarse más sencillamente, diciendo que la resistencia final es igual á los centímetros cuadrados del émbolo mayor por el número de cilindros menos 1.

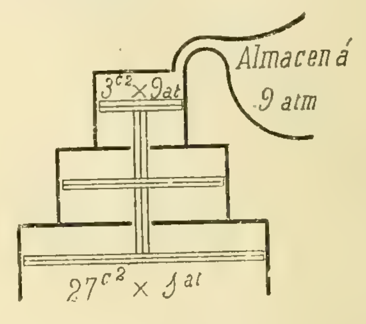


Fig. 125.

# CAPÍTULO II.

## TEORÍA DE LOS ÉMBOLOS CONJUGADOS DEL SISTEMA DIFERENCIAL.

I.

Estudiado lo anterior, de seguro ocurrirá preguntar: ¿Qué clase de problema es el que resuelve la conjugacion de los émbolos decrecientes en razon geométrica? ¿Qué es eso de ahorro de esfuerzo en el instante final? ¿Hay en todo ello alguna ilusion? ¿un absurdo quizás?

¿Cuál es la esencia íntima de la teoría? ¿Por qué nos hemos de ceñir á los últimos instantes de la condensacion? ¿Qué pasa en los primeros? ¿qué ocurre en todos los demás?

II.

Entremos en la cuestion, partiendo de lo más elemental en la ciencia.

Sabemos que para evaluar todo trabajo producido, hay que tomar en consideracion 3 elementos,

tiempo invertido,

espacio recorrido,

y peso levantado (1).

Preciso es para el rigor científico, que midamos, pues, con toda exactitud estos varios elementos, cuando hagamos con cilindros conjugados, ó sin ellos, una determinada condensacion.

III.

Imaginemos un solo cilindro, cuya base tenga una superficie tal, que la presion normal atmosférica de 76 centímetros de mercurio, sea justamente igual á 1 kilógramo.

Llamemos á esta base especial MÓDULO KILOGRAMÉTRICO, y al cilindro correspondiente CILINDRO-MÓDULO (2).

---

(1) De aquí la necesidad de un módulo dinámico, el kilográmetro, el cual es igual á la Fuerza capaz de levantar 1 kilógramo á la altura de 1 metro en 1 segundo. El elemento tiempo y el elemento peso, son los más influyentes en el problema de la condensacion y percondensacion del aire. (Se entiende presuponiendo las leyes de MARIOTTE y GAY LUSSAC.)

(2) La presion atmosférica normal de $0^{m},76$ sobre 1 centímetro cuadrado, es igual á $1^{k},0333$. Por consiguiente, nuestro módulo kilogramétrico tiene que ser menor que un centímetro cuadrado.

Sea de 64 metros la altura de este cilindro teórico; y dividamos esa altura en 64 partes iguales,—de un metro cada una (1).

Establezcamos que para recorrer cada una de estas divisiones de á metro, necesite el piston de este cilindro invertir el tiempo de un segundo.

Si por una de las caras de este piston empuja la presion normal de la atmósfera, la Fuerza con que ayuda á este piston la accion atmosférica, será por hipótesis y convenio, de 1 kilográmetro exactamente.

El almacen está lleno de aire á 2 atm.

El interior del cilindro lo está á 1.

La válvula 0 estará cerrada por la presion desde el almacen.

En cuanto haya empezado á subir nuestro piston-módulo como indica la figura, se comprimirá el aire del interior del cilindro, y se cerrará la válvula $n$. La presion interna irá creciendo á medida que el piston-módulo vaya ascendiendo; y, cuando el módulo haya subido hasta el metro número 32, el aire del interior del cilindro, condensado ya á 2 atmósferas, podrá equilibrar á la presion ejercida desde dentro del almacen sobre la válvula $n$; cesará el trabajo de esfuerzos crecientes, y empezará el de esfuerzo constante.

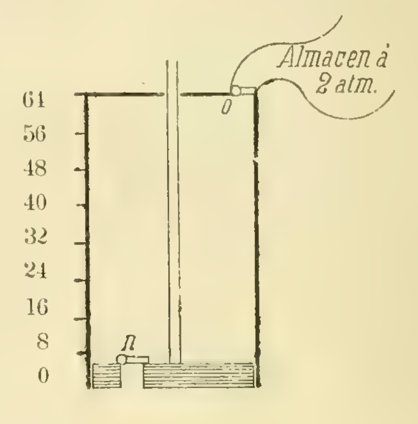


Fig. 121.

Entendido el juego del aparato-módulo, calculemos, segundo por segundo, los esfuerzos necesarios para hacerle funcionar hasta condensar el aire á la presion de 2 atmósferas (por ahora no nos cuidaremos del almacenaje).

## IV.

44 kilográmetros y $\frac{341}{1000}$ es lo que importa el trabajo necesario para que el aire, desde 1 atmósfera, quede condensado á 2 en nuestro cilindro-módulo.

Pues, si en ese cilindro mismo queremos pasar de 2 atmósferas á 4, el trabajo de esta condensacion exigirá el mismo total de kilográmetros....

Y, en general,

Teorema: el trabajo en kilográmetros necesario para pasar de una densidad á su doble, es una cantidad constante (se entiende para una misma altura y una misma base, y un mismo tiempo).

Véanse los estados que siguen:

---

(1) Es imposible dibujar convenientemente á escala este cilindro teórico. Imagínelo el lector.

*Trabajo de esfuerzos crecientes durante 32 segundos para condensar aire de 1 á $2^{atm}$ en un solo cilindro de 1 módulo kilogramétrico de base por 64 metros de altura. Se supone que el piston anda 1 metro por segundo.*

| Segundos de tiempo. | Camino andado. — *Metros.* | Presiones en el interior del cilindro. | Fuerza en kilográmetros. | Términos extremos. | Kilográmetros, término medio. | Descontado el auxilio atmosférico solo hay que hacer un esfuerzo de |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1° | 1 | 64 : 63 | 1,015 | 1,000 + 1,015 | 1,007 | 0,007 |
| 2° | 2 | 64 : 62 | 1,032 | 1,015 + 1,032 | 1,023 | 0,023 |
| 3° | 3 | 64 : 61 | 1,049 | 1,032 + 1,049 | 1,040 | 0,040 |
| 4° | 4 | 64 : 60 | 1,066 | 1,049 + 1,066 | 1,057 | 0,057 |
| 5° | 5 | 64 : 59 | 1,084 | 1,066 + 1,084 | 1,075 | 0,075 |
| 6° | 6 | 64 : 58 | 1,103 | 1,084 + 1,103 | 1,093 | 0,093 |
| 7° | 7 | 64 : 57 | 1,122 | 1,103 + 1,122 | 1,112 | 0,112 |
| 8° | 8 | 64 : 56 | 1,143 | 1,122 + 1,143 | 1,132 | 0,132 |
| 9° | 9 | 64 : 55 | 1,164 | 1,143 + 1,164 | 1,153 | 0,153 |
| 10° | 10 | 64 : 54 | 1,185 | 1,164 + 1,185 | 1,174 | 0,174 |
| 11° | 11 | 64 : 53 | 1,207 | 1,185 + 1,207 | 1,191 | 0,191 |
| 12° | 12 | 64 : 52 | 1,231 | 1,207 + 1,231 | 1,219 | 0,219 |
| 13° | 13 | 64 : 51 | 1,255 | 1,231 + 1,255 | 1,243 | 0,243 |
| 14° | 14 | 64 : 50 | 1,280 | 1,255 + 1,280 | 1,267 | 0,267 |
| 15° | 15 | 64 : 49 | 1,306 | 1,280 + 1,306 | 1,293 | 0,293 |
| 16° | 16 | 64 : 48 | 1,333 | 1,306 + 1,333 | 1,320 | 0,320 |
| 17° | 17 | 64 : 47 | 1,362 | 1,333 + 1,362 | 1,347 | 0,347 |
| 18° | 18 | 64 : 46 | 1,391 | 1,362 + 1,391 | 1,376 | 0,376 |
| 19° | 19 | 64 : 45 | 1,422 | 1,391 + 1,422 | 1,406 | 0,406 |
| 20° | 20 | 64 : 44 | 1,454 | 1,422 + 1,454 | 1,438 | 0,438 |
| 21° | 21 | 64 : 43 | 1,488 | 1,454 + 1,488 | 1,471 | 0,471 |
| 22° | 22 | 64 : 42 | 1,523 | 1,488 + 1,523 | 1,505 | 0,505 |
| 23° | 23 | 64 : 41 | 1,561 | 1,523 + 1,561 | 1,542 | 0,542 |
| 24° | 24 | 64 : 40 | 1,600 | 1,561 + 1,600 | 1,580 | 0,580 |
| 25° | 25 | 64 : 39 | 1,641 | 1,600 + 1,641 | 1,620 | 0,620 |
| 26° | 26 | 64 : 38 | 1,684 | 1,641 + 1,684 | 1,666 | 0,662 |
| 27° | 27 | 64 : 37 | 1,729 | 1,684 + 1,729 | 1,706 | 0,706 |
| 28° | 28 | 64 : 36 | 1,777 | 1,729 + 1,777 | 1,753 | 0,753 |
| 29° | 29 | 64 : 35 | 1,828 | 1,777 + 1,828 | 1,802 | 0,802 |
| 30° | 30 | 64 : 34 | 1,882 | 1,828 + 1,882 | 1,855 | 0,855 |
| 31° | 31 | 64 : 33 | 1,939 | 1,882 + 1,939 | 1,910 | 0,910 |
| 32° | 32 | 64 : 32 | 2.000 | 1,939 + 2,000 | 1,969 | 0,969 |
| | | | 44,856 | | 44,341 | 12,341 (1) |

(1) Las operaciones numéricas del cuadro anterior tienen por objeto hallar por aproximacion el valor de la integral definida siguiente:

$$\int_{32}^{64} \frac{64}{x} \times dx$$

el valor exacto se deducirá como sigue:

$$\int \frac{64}{x} \times dx = 64 \times \frac{\log x}{\log e} + C$$

$$\int_{32}^{64} \frac{64}{x} \times dx = \frac{64}{\log e} \times \log 2 = 44.362.$$

Las integrales definidas

$$\int_{32}^{64} \frac{64}{x} \times dx; \int_{16}^{32} \frac{64}{x} \times dx; \int_{8}^{16} \frac{64}{x} \times dx;$$

son evidentemente iguales todas unas á otras. Cada una de estas integrales corresponde á uno de los estados numéricos del texto.

$$\int_{x}^{64} \frac{64}{x} \times dx = \frac{64}{\log e} \times \{ \log 64 - \log x \} = 147,365 \ldots \times \{ \log 64 - \log x \}$$

*Trabajo de esfuerzos crecientes durante* 16 *segundos para condensar aire de* 2 *á* 4$^{atm}$ *en un solo cilindro de* 1 *módulo kilogramétrico de base por* 64 *metros de altura, cuyo piston camina con la velocidad de* 1 *metro por segundo.*

| Segundos de tiempo. | Camino andado. — *Metros.* | Presiones en el interior del cilindro. | Fuerza en kilográmetros. | Términos extremos. | Kilográm. término medio. | Descontado el auxilio atmosférico solo hay que hacer un esfuerzo de |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 33° | 1 | 64 : 31 | 2,064 | 2 + 2,064 | 2,032 | 1,032 |
| 34° | 2 | 64 : 30 | 2,133 | 2,064 + 2,133 | 2,098 | 1,098 |
| 35° | 3 | 64 : 29 | 2,207 | 2,133 + 2,207 | 2,170 | 1,170 |
| 36° | 4 | 64 : 28 | 2,285 | 2,207 + 2,285 | 2,246 | 1,246 |
| 37° | 5 | 64 : 27 | 2,370 | 2,285 + 2,370 | 2,327 | 1,327 |
| 38° | 6 | 64 : 26 | 2,461 | 2,370 + 2,461 | 2,415 | 1,415 |
| 39° | 7 | 64 : 25 | 2,560 | 2,461 + 2,560 | 2,510 | 1,510 |
| 40° | 8 | 64 : 24 | 2,666 | 2,560 + 2,666 | 2,613 | 1,613 |
| 41° | 9 | 64 : 23 | 2,782 | 2,666 + 2,782 | 2,724 | 1,724 |
| 42° | 10 | 64 : 22 | 2,909 | 2,782 + 2,909 | 2,845 | 1,845 |
| 43° | 11 | 64 : 21 | 3,047 | 2,909 + 3,047 | 2,978 | 1,978 |
| 44° | 12 | 64 : 20 | 3,200 | 3,047 + 3,200 | 3,123 | 2,123 |
| 45° | 13 | 64 : 19 | 3,368 | 3,200 + 3,368 | 3,284 | 2,284 |
| 46° | 14 | 64 : 18 | 3,555 | 3,368 + 3,555 | 3,461 | 2,461 |
| 47° | 15 | 64 : 17 | 3,764 | 3,555 + 3,764 | 3,659 | 2,659 |
| 48° | 16 | 64 : 16 | 4,000 | 3,764 + 4,000 | 3,882 | 2,882 |
| | | | | | 44,367 | 28,367 |

*Trabajo de esfuerzos crecientes durante* 8 *segundos para condensar aire desde* 4 *á* 8$^{atm}$.

| Segundos de tiempo. | Camino andado. — *Metros.* | Presiones en el interior del cilindro. | Fuerza en kilográmetros. | Términos extremos. | Kilográm. término medio. | Descontado el auxilio atmosférico solo hay que hacer un esfuerzo de |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 49° | 1 | 64 : 15 | 4,266 | 4, + 4,266 | 4,133 | 3,133 |
| 50° | 2 | 64 : 14 | 4,571 | 4,266 + 4,571 | 4,418 | 3,418 |
| 51° | 3 | 64 : 13 | 4,923 | 4,571 + 4,923 | 4,747 | 3,747 |
| 52° | 4 | 64 : 12 | 5,333 | 4,923 + 5,333 | 5,128 | 4,128 |
| 53° | 5 | 64 : 11 | 5,818 | 5,333 + 5,818 | 5,575 | 4,575 |
| 54° | 6 | 64 : 10 | 6,400 | 5,818 + 6,400 | 6,109 | 5,109 |
| 55° | 7 | 64 : 9 | 7,111 | 6,400 + 7,111 | 6,755 | 5,755 |
| 56° | 8 | 64 : 8 | 8,000 | 7,111 + 8 | 6,555 | 7,555 |
| | | | | | 44,420 | 36,420 |

*Durante* 4 *segundos para condensar desde* 8 *á* 16.

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 57° | 1 | 64 : 7 | 9,143 | 8 + 9,143 | 8,571 | 7,571 |
| 58° | 2 | 64 : 6 | 10,666 | 9,143 + 10,666 | 9,904 | 8,904 |
| 59° | 3 | 64 : 5 | 12,800 | 10,666 + 12,800 | 11,733 | 10,733 |
| 60° | 4 | 64 : 4 | 16,000 | 12,800 + 16 | 14,400 | 13,400 |
| | | | | | 44,608 | 40,608 |

Se observa, pues, que siempre es igual á 44 kilográmetros y una fraccion la fuerza necesaria para pasar de una densidad á su doble en nuestro cilindro-módulo, de $64^m$ de altura y 1 módulo kilogramétrico de base, andando el piston cada metro en 1 segundo.

(Si los decimales no aparecen conformes, bien se ve que las diferencias dependen de no haberse tomado en todos los casos el mismo número de términos medios.)

| | | |
|---|---|---|
| Kilográmetros para llegar | de 1 á $2^{at}$ | 44,341 |
| | de 2 á $4^{at}$ | 44,367 |
| | de 4 á $8^{at}$ | 44,420 |
| | de 8 á $16^{at}$ | 44,608 |

Y, como el número de promedios ha sido, á su vez, muy reducido para el cálculo del tránsito de 8 á 16 atmósferas, bien podemos creer que la integracion obtenida es demasiado grande: el número, pues, de kilográmetros para pasar de 1 densidad á su doble, es, pues, una CANTIDAD CONSTANTE, y, segun la última nota, ciertamente próxima á

$$44^{kgrm},362.$$

V.

Y aquí se ve el grave inconveniente de condensar los gases por el sistema monocilíndrico usual.

El trabajo es siempre el mismo, así se pase de $1^{at}$ á 2, como de $2^{at}$ á 4 : ... como de $32^{at}$ á 64..... como de $n$ atmósferas á 2 $n$, en cada cilindro de 1 módulo (ó más) de base.....

La carga por centímetros dobla, á cada recondensacion, y el espacio, es la mitad, lo cual produce compensacion; pero, como esta compensacion ocurre en la mitad del tiempo, la Fuerza que realice el trabajo, tiene que doblar á cada recondensacion. En obtener la densidad $2D$ se invierte la mitad del tiempo que se invirtió en obtener la densidad $D$; luego la fuerza tiene que doblar. Mientras que en el tránsito de 1 á $2^{at}$ repartimos entre 32 segundos la integracion de 44 kilográmetros y fraccion, hay que distribuir, cuando se pasa de 8 á $16^{at}$, la misma integracion en solos 4 segundos. En el primer caso (tránsito de 1 á $2^{at}$), se requiere un máximo esfuerzo durante 1 segundo, de 0,969 kilográmetros (contando con el auxilio atmosférico); y en el 2.° caso (tránsito de 8 á $16^{at}$) es indispensable que ese máximo esfuerzo del último segundo, ascienda (con el auxilio atmosférico) á 13,4 kilográmetros; es decir, á un esfuerzo 14 veces mayor.

Veamos ahora de integrar el mismo trabajo por medio de 5 cilindros conjugados, cuyos émbolos tengan de superficie

el 1.º, 1 módulo kilogramétrico.
el 2.º, $^1/_2$ » »
el 3.º, $^1/_4$ » »
el 4.º, $^1/_8$ »
el 5.º, $^1/_{16}$ »

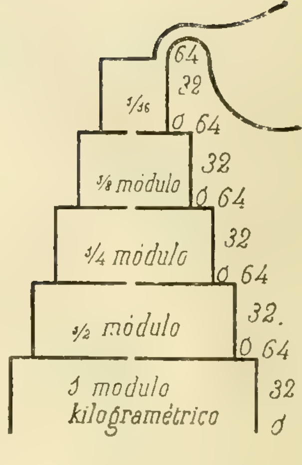


Fig. 125.

y cuya altura sea en cada cilindro igual á 64 metros (1).

El estado que sigue, además de manifestar cómo se verifica, segundo por segundo, el trabajo en los cinco cilindros conjugados, tiene la señaladísima importancia de patentizar el siguiente

Teorema: La integracion del trabajo de condensacion con émbolos conjugados, es igual á la integracion del trabajo con el sistema monocilíndrico.

Vemos, con efecto, aparecer nuevamente el número 44 kilográmetros y una fraccion.

Antes, con el sistema monocilíndrico, obtuvimos.... kilográmetros 44,341
Ahora, con el sistema policilíndrico hallamos........ kilográmetros 44,331

---

(1) No es posible pintar aquí ni siquiera aproximadamente á escala estos cilindros teóricos. Imagínelos el lector juntamente con sus válvulas.

Para hallar los números de la penúltima columna en el estado inmediato puede utilizarse la expresion siguiente:

$$64\int_x^{128}\frac{dx}{x} = \frac{64}{\log e}\{\log 128 - \log x\}$$
$$= 147,365.... \times \{\log 128 - \log x\}$$

La suma total de los términos de la columna, se obtendrá atribuyendo á $x$ el valor límite 64.

Supóngase $x = 112$; 96; 80; y 64. La integral adquirirá los siguientes valores para los números de este volúmen correspondientes á los argumentos marginales 16, 32, 48 y 64.

$$64\int_{112}^{128}\frac{dx}{x} = 8,546 \quad 8,546 - 0 = 8.546$$
$$64\int_{96}^{128}\frac{dx}{x} = 18,412 \quad 18,412 - 8,546 = 9.865$$
$$64\int_{80}^{128}\frac{dx}{x} = 30,080 \quad 30,080 - 18,412 = 11,668$$
$$64\int_{64}^{128}\frac{dx}{x} = 44,361 \quad 44,361 - 30,080 = 14,281$$

*Trabajo de esfuerzos crecientes durante 64 segundos para condensar aire desde 1 á 16 atmósferas con los 5 cilindros conjugados. Se prescinde del auxilio atmosférico, destinado al almacenaje.*

| Segundos de tiempo. | Camino en metros. | Espacio restante en el cilindro mayor de base = 1 módulo. | Espacio ganado en el cilindro de 1/2 módulo. | Suma. | Presion sobre la 1.ª corona de 1/2 módulo. | Fuerza en kilográm. sobre la 1.ª corona de 1/2 mód. | Kilográmetros término medio, sobre la corona de 1/2 módulo. | Término medio sobre las 4 coronas de 1/2, 1/4, 1/8, 1/16. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 63 | 0.5 | 63.5 | 64 : 63.5 | 0,504 | 0,502 | 2,008 |
| 2 | 2 | 62 | 1 | 63 | 64 : 63 | 0,508 | 0,506 | 2,024 |
| 3 | 3 | 61 | 1,5 | 62,5 | 64 : 62,5 | 0,512 | 0,510 | 2,040 |
| 4 | 4 | 60 | 2 | 62 | 64 : 62 | 0,516 | 0.514 | 2,056 |
| 5 | 5 | 59 | 2,5 | 61.5 | 64 : 61.5 | 0,520 | 0.518 | 2,072 |
| 6 | 6 | 58 | 3 | 61 | 64 : 61 | 0,524 | 0,522 | 2,088 |
| 7 | 7 | 57 | 3,5 | 60,5 | 64 : 60,5 | 0,529 | 0,526 | 2,106 |
| 8.. | .. 8.. | ...56... | .. 4.... | ..60.... | ..64 : 60.... | ..0,533.. | ..0,531........ | ...2,124 |
| 9 | 9 | 55 | 4,5 | 59,5 | 64 : 59,5 | 0,537 | 0,535 | 2,140 |
| 10 | 10 | 54 | 5 | 59 | 64 : 59 | 0,542 | 0,539 | 2,158 |
| 11 | 11 | 53 | 5,5 | 58,5 | 64 : 58,5 | 0,547 | 0,544 | 2,178 |
| 12 | 12 | 52 | 6 | 58 | 64 . 58 | 0,551 | 0.549 | 2,196 |
| 13 | 13 | 51 | 6,5 | 57,5 | 64 : 57,5 | 0,556 | 0,553 | 2,214 |
| 14 | 14 | 50 | 7 | 57 | 64 : 57 | 0,561 | 0,559 | 2,234 |
| 15 | 15 | 49 | 7,5 | 56,5 | 64 : 56,5 | 0,566 | 0,563 | 2,254 |
| 16.. | ..16.. | ...48... | .. 8.. . | ..56.... | ..64 : 56.... | ..0,571.. | ..0,569..8,540. | ...2,274 |
| 17 | 17 | 47 | 8,5 | 55,5 | 64 : 55,5 | 0,576 | 0,573 | 2,294 |
| 18 | 18 | 46 | 9 | 55 | 64 : 55 | 0,582 | 0,579 | 2,316 |
| 19 | 19 | 45 | 9,5 | 54,5 | 64 : 54,5 | 0,587 | 0,584 | 2,338 |
| 20 | 20 | 44 | 10 | 54 | 64 : 54 | 0,592 | 0,589 | 2,358 |
| 21 | 21 | 43 | 10,5 | 53.5 | 64 : 53.5 | 0,598 | 0,595 | 2,380 |
| 22 | 22 | 42 | 11 | 53 | 64 : 53 | 0,603 | 0,600 | 2,402 |
| 23 | 23 | 41 | 11,5 | 52,5 | 64 : 52,5 | 0,609 | 0,606 | 2,424 |
| 24.. | ..24.. | ...40... | ..12.... | ..52.... | ..64 : 52.... | ..0,615.. | ..0,612....... | ...2,448 |
| 25 | 25 | 39 | 12,5 | 51,5 | 64 : 51,5 | 0,621 | 0,618 | 2,472 |
| 26 | 26 | 38 | 13 | 51 | 64 : 51 | 0,628 | 0,624 | 2,498 |
| 27 | 27 | 37 | 13,5 | 50,5 | 64 : 50,5 | 0,633 | 0,630 | 2,522 |
| 28 | 28 | 36 | 14 | 50 | 64 : 50 | 0,640 | 0,636 | 2,546 |
| 29 | 29 | 35 | 14,5 | 49,5 | 64 : 49,5 | 0,646 | 0,643 | 2,572 |
| 30 | 30 | 34 | 15 | 49 | 64 : 49 | 0,653 | 0,649 | 2,598 |
| 31 | 31 | 33 | 15,5 | 48,5 | 64 : 48,5 | 0,659 | 0,656 | 2,624 |
| 32.. | ..32.. | ...32... | ..16.... | ..48.... | ..64 : 48.... | ..0,666.. | ..0,662..9,856. | ...2,650 |
| 33 | 33 | 31 | 16,5 | 47,5 | 64 : 47,5 | 0,673 | 0,669 | 2,678 |
| 34 | 34 | 30 | 17 | 47 | 64 : 47 | 0,681 | 0,676 | 2,703 |
| 35 | 35 | 29 | 17,5 | 46,5 | 64 : 46,5 | 0,688 | 0,684 | 2,738 |
| 36 | 36 | 28 | 18 | 46 | 64 : 46 | 0,695 | 0,691 | 2,766 |
| 37 | 37 | 27 | 18,5 | 45,5 | 64 : 45,5 | 0,703 | 0,699 | 2,796 |
| 38 | 38 | 26 | 19 | 45 | 64 : 45 | 0,711 | 0,707 | 2,828 |
| 39 | 39 | 25 | 19,5 | 44,5 | 64 : 44,5 | 0,719 | 0,715 | 2,860 |
| 40.. | ..40.. | ...24... | ..20.... | ..44.... | ..64 : 44.... | .0,727.. | ..0,723....... | ...2,892 |
| 41 | 41 | 23 | 20,5 | 43,5 | 64 : 43,5 | 0,735 | 0,731 | 2,924 |
| 42 | 42 | 22 | 21 | 43 | 64 : 43 | 0,744 | 0,739 | 2.958 |
| 43 | 43 | 21 | 21,5 | 42,5 | 64 : 42,5 | 0,753 | 0,749 | 2,994 |
| 44 | 44 | 20 | 22 | 42 | 64 : 42 | 0,761 | 0,757 | 3,028 |
| 45 | 45 | 19 | 22,5 | 41,5 | 64 : 41,5 | 0,771 | 0,766 | 3,064 |
| 46 | 46 | 18 | 23 | 41 | 64 : 41 | 0,780 | 0,775 | 3,102 |
| 47 | 47 | 17 | 23,5 | 40,5 | 64 : 40,5 | 0,790 | 0,785 | 3,140 |
| 48.. | ..48.. | ...16... | ..24.... | ..40.... | ..64 : 40.... | ..0,800.. | ..0,795.11,661. | ...3,180 |
| 49 | 49 | 15 | 24,5 | 395 | 64 : 39,5 | 0,810 | 0,805 | 3,220 |
| 50 | 50 | 14 | 25 | 39 | 64 : 39 | 0,821 | 0,815 | 3.262 |
| 51 | 51 | 13 | 25,5 | 38,5 | 64 : 38,5 | 0,831 | 0,826 | 3,304 |
| 52 | 52 | 12 | 26 | 38 | 64 : 38 | 0,842 | 0,836 | 3,346 |
| 53 | 53 | 11 | 26,5 | 37,5 | 64 : 37,5 | 0,853 | 0,847 | 3,390 |
| 54 | 54 | 10 | 27 | 37 | 64 : 37 | 0,864 | 0,859 | 3,434 |
| 55 | 55 | 9 | 27,5 | 36,5 | 64 : 36,5 | 0,876 | 0,870 | 3,480 |
| 56.. | ..56.. | ... 8... | ..28.... | ..36.... | ..64 : 36.... | ..0,888.. | ..0,882....... | ...3,528 |
| 57 | 57 | 7 | 28,5 | 35.5 | 64 : 35,5 | 0,901 | 0,894 | 3,578 |
| 58 | 58 | 6 | 29 | 35 | 64 : 35 | 0,914 | 0,908 | 3,630 |
| 59 | 59 | 5 | 29,5 | 34,5 | 64 : 34,5 | 0,927 | 0,920 | 3,682 |
| 60 | 60 | 4 | 30 | 34 | 64 : 34 | 0,941 | 0,934 | 3,736 |
| 61 | 61 | 3 | 30,5 | 33,5 | 64 : 33,5 | 0,955 | 0,948 | 3,792 |
| 62 | 62 | 2 | 31 | 33 | 64 : 33 | 0,969 | 0,962 | 3,848 |
| 63 | 63 | 1 | 31,5 | 32,5 | 64 : 32,5 | 0,984 | 0,976 | 3,906 |
| 64.. | ..64.. | ... 0... | ..32.... | ..32.... | ..64 : 32.... | ..1,000.. | ..0,992..14,274 | ... 3,968 |
| | | | | | | | 44,331 | 177,363 |

(La diferencia en los decimales se explica por la poca aproximacion de las operaciones al hallar los términos medios.)

La integracion es, pues, la misma con un mecanismo que con otro (como no podia menos de aparecer).

VI.

El estado anterior necesita algunas observaciones.

1.ª En él se prescinde del auxilio atmosférico, porque, empleado este exclusivamente en el almacenaje, no ayuda para nada al trabajo de la condensacion. En el sistema monocilíndrico no sucede así, puesto que durante la compresion y durante el almacenaje, se utiliza ese auxilio, y es preciso repartir sus efectos con arreglo á los tiempos invertidos en la una y en el otro.

2.ª Calculado el esfuerzo que debe vencer, para la condensacion de 1 á 2 atmósferas, la corona 1.ª, de superficie igual á $1/2$ módulo kilogramétrico, no he necesitado más que multiplicar por 4 los resultados, para saber á cuánto asciende el conjunto de esfuerzos necesarios á vencer las resistencias á fin de que, por medio de los 5 cilindros conjugados, se efectuen la condensacion, recondensaciones, y percondensacion, hasta 16 atmósferas.

En cualquier momento, el esfuerzo sobre una corona es igual al esfuerzo sobre cualquiera otra en el mismo instante; porque las densidades del aire están siempre en razon inversa de las superficies anulares comprimentes. Y, como las 4 coronas efectuan á la par su trabajo respectivo de compresion, la fuerza total necesaria para moverlas á todas juntas, es

$=$ á la fuerza que exije una corona $\times$ por el número de ellas,

ó bien

$=$ á la fuerza que exije una corona $\times$ por el número de cilindros menos 1.

3.ª Descontado el auxilio atmosférico, deben ser iguales los kilográmetros necesarios para hacer una percondensacion, é introducir el aire en el almacen, ya nos valgamos del sistema policilíndrico, ya utilicemos el usual monocilíndrico.

Y, en efecto, así sucede.

En el último estado vemos que la integracion del trabajo efectuado para 16 atmósferas por las 4 coronas comprimentes de los cinco cilindros, es

igual á........................................ $177^{\text{kgrm}},363$,

cantidad en la cual está comprendido el almacenaje ejecutado (y no llevado en cuenta) por la atmósfera ambiente.

Pues, descontando tambien el auxilio atmosférico, vemos que el sistema monocilíndrico exije lo siguiente, segun los estados anteriores que á él se refieren:

Para el trabajo creciente:

| | | |
|---|---|---|
| Tránsito de 1 á | $2^{at}$ | $12^{kgrm}$, 341 |
| de 2 á | 4 | 28, 367 |
| de 4 á | 8 | 36, 420 |
| de 8 á | 16 | 40, 608 |
| | | 117, 736 |

Para el trabajo constante:

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| (1) almacenaje durante el segundo de tiempo n.° | 61, | $15^{kgrm}$ | | |
| durante el | 62, | 15 | | |
| durante el | 63, | 15 | | |
| durante el | 64, | 15 | 60 | |
| | | | .................... | 177,736 |

VII.

Ya podemos responder á las preguntas con que empezamos este capítulo II.

Teorema:

Los émbolos conjugados trasladan á los primeros tiempos de la compresion las enormes resistencias finales que experimenta el piston único del sistema monocilíndrico.

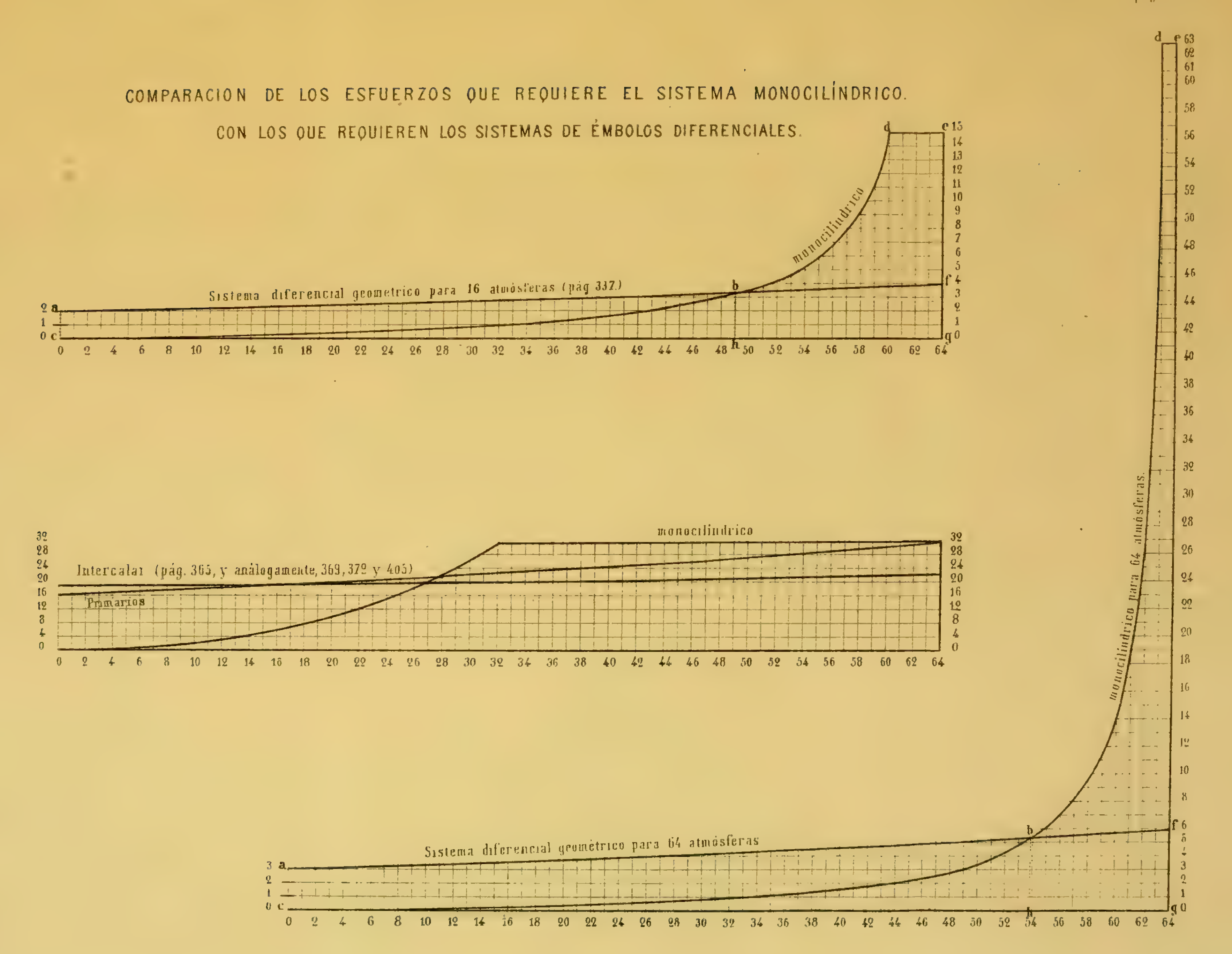
El siguiente estado lo evidencia:

---

(1) El aire interior está á 16 atmósferas: descontando el auxilio atmosférico, solo hay que hacer un esfuerzo de $15^{k}$.

*Compresion á 16 atmósferas.*

| | Por el sistema monocilíndrico. | | Por el sistema policilíndrico. | |
|---|---|---|---|---|
| En el segundo 1 | 0,007 | | 2,008 | |
| 2 | 0,023 | | 2,024 | |
| 3 | 0,040 | | 2,040 | |
| 4 | 0,057 | | 2,056 | |
| 5 | 0,075 | | 2,072 | |
| 6 | 0,093 | | 2,088 | |
| 7 | 0,112 | | 2,106 | |
| 8 | 0,132 | | 2,124 | |
| 9 | 0,153 | | 2,140 | |
| 10 | 0,174 | | 2,158 | |
| 11 | 0,191 | | 2,178 | |
| 12 | 0,219 | | 2,196 | |
| 13 | 0,243 | | 2,214 | |
| 14 | 0,267 | | 2,234 | |
| 15 | 0,293 | | 2,251 | |
| 16 | 0,320 | | 2,274 | |
| 17 | 0,347 | | 2,294 | |
| 18 | 0,376 | | 2,316 | |
| 19 | 0,406 | | 2,338 | |
| 20 | 0,438 | | 2,358 | |
| 21 | 0,471 | | 2,380 | |
| 22 | 0,505 | | 2,402 | |
| 23 | 0,542 | | 2,424 | |
| 24 | 0,580 | | 2,418 | |
| 25 | 0,620 | | 2,472 | 123,479 |
| 26 | 0,662 | | 2,198 | |
| 27 | 0,706 | | 2,522 | |
| 28 | 0,753 | | 2,546 | |
| 29 | 0,802 | | 2,572 | |
| 30 | 0,855 | | 2,598 | |
| 31 | 0,910 | | 2,624 | |
| 32 | 0,969 | | 2,650 | |
| 33 | 1,032 | | 2,678 | |
| 34 | 1,098 | | 2,703 | |
| 35 | 1,170 | | 2,738 | |
| 36 | 1,246 | | 2,766 | |
| 37 | 1,327 | | 2,796 | |
| 38 | 1,415 | | 2,828 | |
| 39 | 1,510 | | 2,860 | |
| 40 | 1,613 | | 2,892 | |
| 41 | 1,724 | | 2,924 | |
| 42 | 1,845 | | 2,958 | |
| 43 | 1,978 | | 2,994 | |
| 44 | 2,123 | | 3,028 | |
| 45 | 2,284 | | 3,064 | |
| 46 | 2,161 | | 3,102 | |
| 47 | 2,659 | | 3,140 | |
| 48 | 2,882 | | 3,180 | |
| 49 | 3,133 | | 3,220 | |
| 50 | 3,418 | | 3,262 | |
| 51 | 3,747 | | 3,304 | |
| 52 | 4,128 | | 3,346 | |
| 53 | 4,575 | | 3,390 | |
| 54 | 5,109 | | 3,434 | |
| 55 | 5,755 | | 3,480 | |
| 56 | 6,555 | | 3,528 | |
| 57 | 7,571 | 133,895 | 3,578 | |
| 58 | 8,904 | | 3,630 | |
| 59 | 10,733 | | 3,682 | |
| 60 | 13,400 | | 3,736 | |
| 61 | 15, | | 3,792 | |
| 62 | 15, | | 3,848 | |
| 63 | 15, | | 3,906 | |
| 64 | 15, | | 3,968 | |
| | 177,736 | | 177,363 | |


COMPARACION DE LOS ESFUERZOS QUE REQUIERE EL SISTEMA MONOCILÍNDRICO.
CON LOS QUE REQUIEREN LOS SISTEMAS DE ÉMBOLOS DIFERENCIALES.
monocilíndrico
Sistema diferencial geometrico para 16 atmósferas (pág. 337.)
monocilíndrico
Intercalar (pág. 365, y análogamente, 369, 372 y 405)
Primarios
monocilíndrico para 64 atmósferas.
Sistema diferencial geométrico para 64 atmósferas

La integracion de la compresion á 16 atmósferas, es la misma en ambas columnas; $= 177^{kgrm}$ y una fraccion.

Pero, mientras la del sistema monocilíndrico empieza por milésimas de kilográmetro, la de los émbolos conjugados empieza con 2 kilográmetros y algo más; es decir, con un esfuerzo tal, que si bien no exije un poderosísimo motor, es, sin embargo, 287 veces mayor que el requerido por el sistema del cilindro único.

En compensacion, el sistema monocilíndrico exije, en los últimos instantes, un motor representado por $15^{kgrm}$, al paso que con un motor 4 veces menor, terminan su carrera los 5 émbolos conjugados.

Además, dados nuestros cilindros hipotéticos, los cambios en las resistencias (tan perjudiciales á cualquier sistema de mecanismos), están, con émbolos conjugados, en una proporcion menor que de 1 á 2 $\left(\frac{2008}{3968}\right)$; mientras que en el sistema monocilíndrico se encuentran en la proporcion de 1 á más de 2000 $\left(=\frac{0{\cdot}007}{15}\right)$. Esto solo bastaría para condenar el sistema del cilindro único, empleado, no obstante, universalmente.

Las resistencias finales desde el segundo n.° 50 al 64, ascienden á $133^{kgrm}$,895 en el sistema monocilíndrico. De esta enorme acumulacion de resistencias, quedan repartidos, con el sistema de los émbolos conjugados, $123^{kgrm}$,479 entre los segundos 1.° al 49. Poco á poco, pues, por el sistema policilíndrico, se ha ido efectuando, en 49 períodos, lo que en 14 tiene que efectuar el sistema monocilíndrico.

Los émbolos conjugados han TRASLADADO, pues, á los primeros tiempos de la compresion, las colosales resistencias que hácia el fin de su carrera halla un piston cuando comprime un gas en un solo cilindro.

Y, para que todo lo anterior entre por la evidencia de los sentidos, he formado las 2 curvas n.° 1 de la adjunta lámina, que, á mi entender, patentizan el último importantísimo teorema.

La curva de los émbolos conjugados diferencialmente, viene á ser como un plano suavemente inclinado que se eleva, por gradaciones insensibles, desde poco más de 2 á poco menos de 4 en una extension de 64.

La curva correspondiente al sistema monocilíndrico, despues de elevarse muy suavemente desde cero hasta 3 $\frac{1}{2}$ durante 49, se levanta de un modo abrupto y escarpado desde 3 $\frac{1}{2}$ á 15 durante los tiempos comprendidos entre 49 y 60, para caminar luego horizontalmente durante 4, á la enorme altura de 15 sobre la horizontal.

Las superficies de las curvas *abc* y *bdef*, opuestas por el vértice, son casi iguales:

En efecto, segun el estado anterior,

$$abc = abhc - cbh = 123{,}479 - (177{,}736 - 133{,}895) = 79{,}638,$$
$$bdef = bdegh - bfgh = 133{,}895 - (177{,}363 - 123{,}479 = 80{,}011).$$

Esto hace patente la gran ventaja que lleva el sistema de los cinco émbolos diferenciales al sistema monocilíndrico usual; puesto que los diferenciales ejecutan en 49 períodos lo que el piston monocilíndrico debe ejecutar en 14; toda vez que es comun á ambos sistemas el trabajo representado por el área $bfgh$.

## VIII.

Solamente el desconocimiento de la economía particular que gobierna la condensacion de un gas, y que es la esencia íntima de la ley de Mariotte, puede disculpar la construccion de algunas máquinas para comprimir el aire, cuya sencillez nunca debe excusar el despilfarro inconcebible de fuerza motriz necesaria para hacerlas funcionar.

Véase un ejemplo:

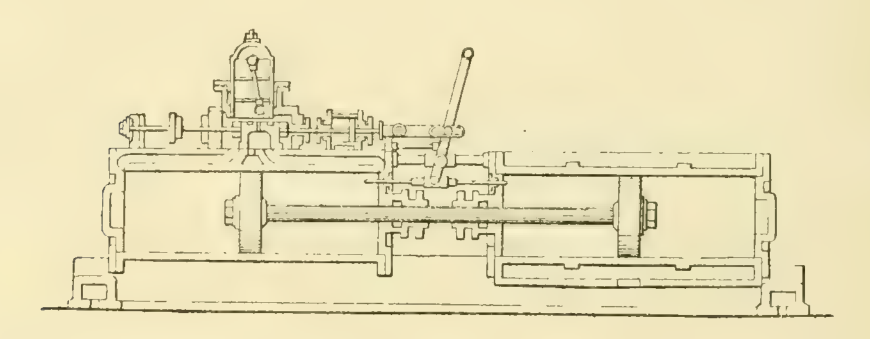


Fig. 126.

No hay volante: los pistones, empujando los extremos de la varilla horizontal que asoma en los fondos mas próximos de los cilindros, hacen el cambio de la distribucion: esto es, sin duda, ingenioso y sencillo: pero el cilindro de vapor tiene que trabajar á presion plena de 5 atmósferas, solo para vencer, al fin, la resistencia del almacenaje á 4 atmósferas, en la última cuarta parte de la carrera del piston, derrochando sin necesidad al principio la enorme tension del vapor á 5 atmósferas, cuando la resistencia es relativamente insignificante. Pues qué ¿el carbon no cuesta dinero?

Mejor pensada es esta máquina que, por las noticias que de ella tengo, debe funcionar como aparece desprenderse de la figura siguiente:

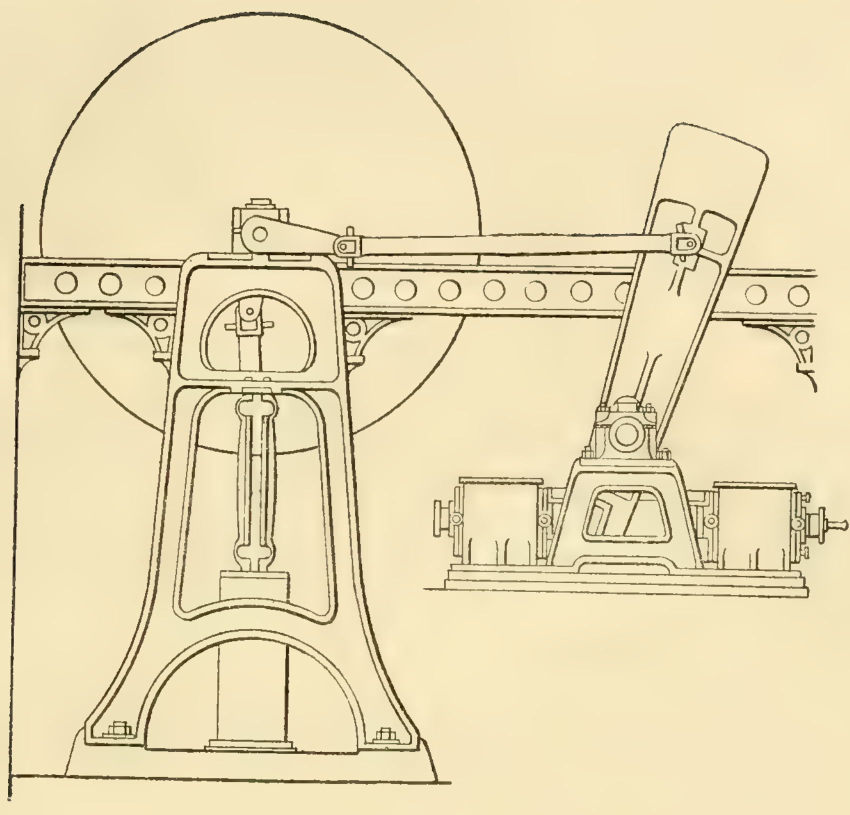


Fig. 127.

El vapor trabaja á plena presion hasta poner el contrapeso casi vertical: despues el vapor funciona por expansion; tiene naturalmente menos potencia, pero, entonces, inclinándose en su favor el contrapeso (precisamente cuando las resistencias de la compresion del aire llegan á su máximum) restituye al piston toda la fuerza que el vapor invirtió en levantarlo cuando, trabajando á presion plena, era su potencia un máximo y escasa la resistencia.

Este recurso es, sin duda, muy original: pero ¿no tendrá que gastarse fuerza bastante en vencer el movimiento parásito del contrapeso? En mi juicio mejor hubiera sido un volante de gran masa: acaso, razones que desconozco, decidirán en favor de esta ingeniosa novedad.

## IX.

El problema, pues, que resuelven los émbolos conjugados, me parece de importancia, de notable trascendencia, nuevo en mecánica, y no elevado á sistema todavía: el de repartir con cierta uniformidad el trabajo de las compresiones sucesivas de cualquier fluido aeriforme sensiblemente sometido á la ley de Mariotte; compresiones que con el sistema monocilíndrico empiezan no exigiendo casi ningun esfuerzo, y terminan necesitando la aplicacion de un poderoso motor.

No siempre puede vencerse una resistencia, porque no siempre se dispone de un motor suficiente para el trabajo directo. ¿Quién no ve la utilidad de ejercer presiones colosales con pequeños motores, directamente y sin intermedio de engranajes, causa siempre de considerables resistencias pasivas, y de organismos que no pueden funcionar sino á costa de espacios preciosísimos de tiempo? ¿Quién no se regocijará de poder comprimir los gases con fuerzas escasas y sin pérdidas de tiempo, solo por saber dar mejor distribucion mecánica á los períodos de la compresion?

## X.

Pero tomemos cilindros industriales, no teóricos como hasta aquí, y aparecerá verdaderamente útil el sistema de los émbolos en progresion geométrica, empleados conjugadamente para llegar á presiones espantosas.

Supongamos que quisiéramos producir en un solo cilindro de 2560 módulos kilogramétricos una compresion de 64 atmósferas: tendríamos que aplicar al final la enorme fuerza de

$$2560 \times 63 = 161\ 280 \text{ kilógramos}$$

¡más de 161 toneladas!

Pues recurramos ahora á un aparato de 7 cilindros conjugados en progresion geométrica, cuyas bases sean

$$:: 64 : 32 : 16 : 8 : 4 : 2 : 1;$$

y llegaremos á esa portentosa compresion con solo un esfuerzo máximo de

(1 corona de $(2560 - 1280) \times (2^{at}) \times$ ((por el total de cilindros—1) = (7—1)) = $(1280^{mod} \times 2 \times 6 = 15360$ kilógrs.;

es decir, 15 toneladas: ¡menos del décimo del caso anterior!

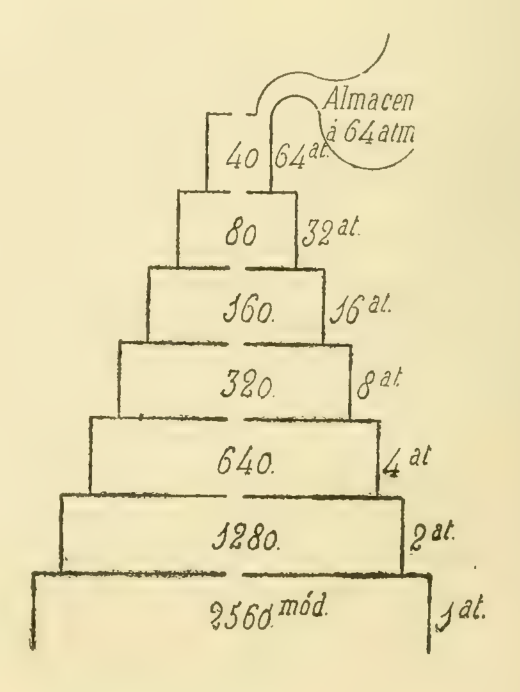


Fig. 128.

Y nada quiero decir de la resistencia colosal que habria de exigirse al potente cilindro dentro de cuyas paredes tuviera que realizarse tan gran condensacion á 64 kilógramos por superficie-módulo; mientras que, con émbolos conjugados, exigiéndose cilindros de un diámetro cada vez menor á medida que crecen estas

fabulosas compresiones, capaces serian los aparatos de resistir y albergar tan extraordinarias condensaciones, aun permaneciendo iguales los espesores de metales en todas las paredes cilíndricas. ¿No tiene cohesion bastante para resistir nada menos que á la explosion de la pólvora la delgada pared de una escopeta?

## XI.

Pudiendo ser cualquiera la razon de los émbolos conjugados, ¿cuál conviene más?

La siguiente comparacion instruirá lo bastante para comprender que mientras menor sea la razon, más conveniente es.

Sean 2 las séries de émbolos conjugados: en la 1.ª la razon es 2, y en la 2.ª es 3.

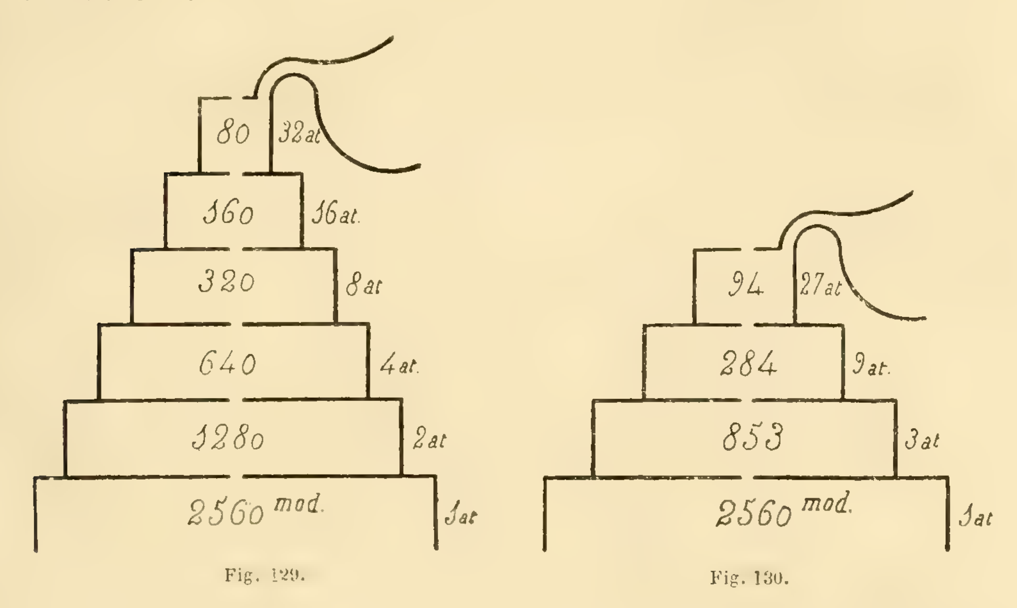


Fig. 129. Fig. 130.

La *figura* 129, para comprimir aire á $32^{at}$, requiere un esfuerzo máximo de

$$(2560-1280)\times 2^{at}\times(6-1)=12800^{k}.$$

La *figura* 130, para comprimir aire solo á 27 atmósferas, necesita, sin embargo,

$$(2560-853)\times 3^{at}\times(4-1)=15363.$$

## XII.

Ya hemos logrado conocer la esencia íntima de la funcion mecánica realizada por los émbolos conjugados: «distribuir de un modo uniformemente creciente los esfuerzos parciales que requiere la condensacion de un gas, reduciendo á un suave plano inclinado la escarpada curva que representa la condensacion en el sistema monocilíndrico.»

Réstanos solo conocer la LEY de esta funcion.

Siendo la suma de los esfuerzos necesarios para pasar de una densidad á su doble una cantidad constante, cuando, para llegar de $1^{at}$ á 2, de 2 á 4, de 4 á $8^{at}$....., invertimos siempre el mismo tiempo, y caminamos siempre el mismo espacio, es evidente de toda evidencia que será tambien una cantidad constante el trabajo de comprimir con émbolos conjugados el aire, desde la densidad de $1^{at}$ á la de 2, desde la de 2 á la de 4, desde la de 4 á la de 8.....

Y, por consiguiente,

Corolario:

Con émbolos conjugados, los esfuerzos precisos para la condensacion de un gas son los logaritmos de las presiones (logaritmos que serán los que correspondan á una base aritmética igual á la razon de 2 cilindros consecutivos).

Si, pues, para condensar una determinada masa de aire desde 1 á $2^{at}$, se necesita, por ejemplo, la fuerza de 1 caballo-vapor; para obtener con émbolos conjugados diferencialmente, esa misma masa de gas recondensada á 4 atmósferas, será necesaria la fuerza de 2 caballos (de 1 caballo para el tránsito de $1^{at}$ á 2, y de otro caballo para el tránsito de 2 á $4^{at}$).

Y, si quisiéramos que esa misma masa de aire estuviese percondensada á $8^{at}$, necesitaríamos la fuerza de $3^{cab}$ (por haber pasado ese mismo volúmen de aire 3 veces desde una densidad á su doble).

Y así, en general, se requiere con émbolos diferenciales:

Para condensar aire á $2^{at}$, fuerza como 1,
Para condensar aire á $4^{at}$, fuerza como 2,
Para condensar aire á $8^{at}$, fuerza como 3,
Para condensar aire á $16^{at}$, fuerza como 4,
Para condensar aire á $32^{at}$, fuerza como 5.
Para condensar aire á $64^{at}$, fuerza como 6,
Etc.

Y, como $2^1 = 2$,
$2^2 = 4$,
$2^3 = 8$,
$2^4 = 16$,
$2^5 = 32$,
$2^6 = 64$.
Etc.

de aquí el haberme parecido propio llamar LEY LOGARÍTMICA á la ley de los esfuerzos respecto de las presiones con émbolos diferenciales.

Los Esfuerzos son, pues, los Logaritmos de las presiones (obtenidas con émbolos decrecientes en razon geométrica, que funcionan simultánea y conjugadamente).

¡Ley de inapreciables resultados, pues con pequeños motores puede obtenerse directamente lo que, del modo actualmente en uso, necesita de fuerzas colosales (1).

## XIII.

No tengo noticia de ningun compresor rigorosamente diferencial.

Dos existen que lo son durante un cierto período de su marcha:

el de HURCOURT,

el de ROUQUAYROL.

En el de HURCOURT, indicado en la *figura* 131, y que en París sirve para condensar el gas del alumbrado á 11 atmósferas, con el fin de distribuirlo despues en pequeños recipientes portátiles, aparece un aparato verdaderamente diferencial, cuando el piston baja: porque mientras más se reduce el espacio inferior comprendido entre el piston y el fondo, más se ensancha el espacio anular existente entre las paredes cilíndricas exteriores y la gruesa barra del piston, la cual no las toca, quedando así entre la barra y el cilindro, una especie de galería intercilíndrica.

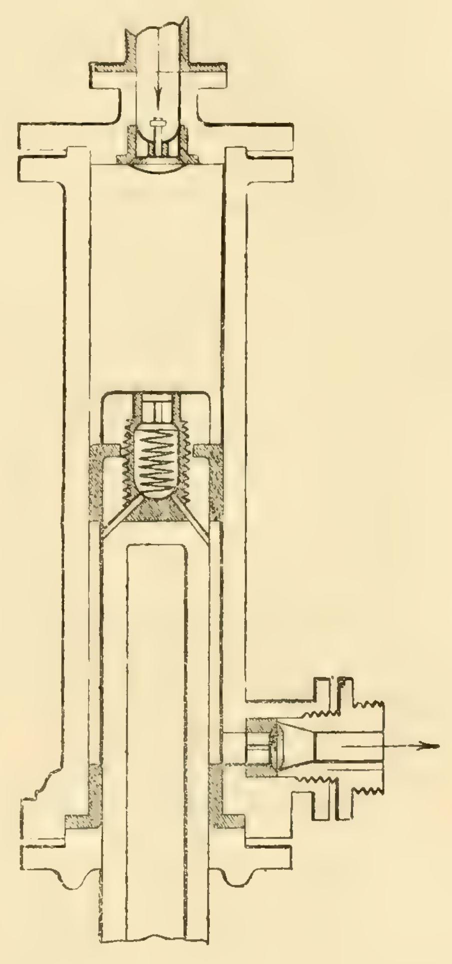


Fig. 131.

Pero, cuando el piston sube, la recondensacion se hace por el sistema monocilíndrico; hay un período de esfuerzos crecientes, y luego uno de almacenaje con presion constante. Este compresor es sencillo, y de gran solidez, funciona en muy buenas condiciones; pero no es rigorosamente diferencial.

(1) La ley logarítmica es general: si en vez de émbolos decrecientes, segun la razon 2, tuviésemos émbolos decrecientes segun la razon 3, tales como 81 : 27 : 9 : 3 : 1, resultaria que la 1.ª corona (= 81 — 27 = 54) nos exigiria un esfuerzo final de $54 \times 3^{at} = 162^{k}$: la segunda corona (= 27 — 9 = 18) lo exigiria de $18 \times 9^{at} = 162^{k}$: igualmente la tercera corona (= 9 — 3 = 6), requeriria la misma fuerza de $162^{k} = 6 \times 27^{at}$; y la cuarta corona (= 3 — 1 = 2) pediria tambien $2 \times 81^{at} = 162^{k}$, etc.

Tampoco llena esta condicion el de ROUQUAYROL. En este ingeniosísimo aparato los cilindros están entre sí : : 5 : 1. El mayor deposita sobre sí el aire á $5^{at}$, dando por el interior de la palanca alimento al menor, el cual lo almacena á $25^{at}$ ó más, para que los buzos puedan descender al fondo de las aguas, llevando una gran provision de aire en reducidísimo volúmen. Cuando baja el cilindro mayor, el fondo va acercándose á la tonga de agua, y comprimiendo el aire hasta que su densidad se hace superior á la del depósito. Mientras tal sucede, las cosas pasan como en el sistema monocilíndrico. Pero, no bien el aire comprimido empieza á penetrar en el cilindro menor por la palanca-manubrio y hasta el fin del viaje, ó descenso del cilindro mayor, el proceso de la condensacion es diferencial, por existir dos organismos trabajando simultáneamente, de los cuales el uno deshace en parte lo que el otro lleva á cabo. En efecto, mientras el fondo del cilindro mayor va reduciendo más y más el volúmen del aire que lo llenaba, aspirado de la atmósfera, el fondo del cilindro menor lo va en parte ensanchando, de modo que la compresion resulta ser una diferencia. Expulsado del cilindro mayor todo el aire que lo llenaba, toca entonces al cilindro chico; su vez de comprimir el cual, bajando, sigue por completo las leyes del sistema monocilíndrico: es decir, recondensa, durante un cierto espacio de tiempo mediante esfuerzos crecientes; y, por fin, almacena, teniendo que vencer una resistencia constante. En la interesante máquina ROUQUAYROL hay 3 períodos bien distintos,

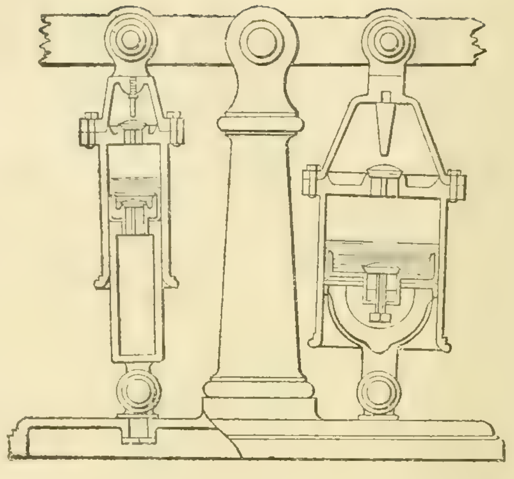


Fig. 132.

uno de trabajo monocilíndrico.
otro de trabajo diferencial,
y otro monocilíndrico otra vez.

---

Y tendríamos entonces:

Para pasar de $1^{at}$ á 3, fuerza como 1.
Para pasar de $1^{at}$ á 9, fuerza como 2.
Para pasar de $1^{at}$ á 27, fuerza como 3.
Para pasar de $1^{at}$ á 81, fuerza como 4.

Por tanto, el número de kilográmetros necesarios para pasar de una densidad á su triplo, es una cantidad constante.

Observacion.—No creo necesario detenerme á explanar que la fuerza, mirada como igual á 1 cuando se trata de pasar desde una densidad á su triplo, tiene que ser diferente y mayor que la otra fuerza, tambien considerada como 1, cuando se trató de pasar de una densidad á su duplo.

Y, en efecto, la fuerza, considerada como 1 para triplicar una densidad, es en números redondos

$$(3^{at} - 1) \times \text{módulo} = 2^k$$

mientras que la fuerza necesaria para doblarla es

$$(2^{at} - 1) \times \text{módulo} = 1^k$$

Los compresores Rouquayrol, aunque llamados de piston diferencial, se ajustan menos todavía que los Hurcourt al rigor del sistema cuyo nombre adopta.

## XIV.

No debe confundirse la compresion diferencial con la compresion por escalones.

Compresion por escalones es sinónimo de proceso sistemático de condensaciones sucesivas. La compresion escalonada excluye las ideas de dos mecanismos en que simultáneamente uno anula parte de lo que hace otro; y esta exclusion no tiene nada que ver con lo diferencial ó no diferencial de una condensacion. Y tanto es así, que puede haber compresiones escalonadas en el sistema diferencial lo mismo que en el monocilíndrico.

Pero no interrumpamos el estudio de la ley logarítmica, anticipando ideas que hemos de discutir con mayor detenimiento.

# APÉNDICES AL CAPÍTULO II.

El afan de exponer cuanto antes todo lo necesario para dar á entender:

1.º La esencia íntima de la funcion mecanica realizada por los émbolos conjugados y geométricos—trasladar á los primeros períodos de la compresion las enormes resistencias finales del sistema monocilíndrico;

Y 2.º La importante ley de esa funcion mecánica—los esfuerzos son los logaritmos de las presiones;

Me han hecho dejar para este *Apéndice* algunas proposiciones que he dado por evidentes, y que, para muchos, necesitarán de cierta explanacion.

## I.

La correspondencia entre el sistema monocilíndrico y el policilíndrico existente en un instante cualquiera de la compresion, subsiste en todos los demás que sean correspondientes entre sí.

Así, pues, si para terminar el TOTAL de su obra (aire á $2^{atm}$) dos émbolos conjugados

$$:: 1 : 2$$

andan doble camino,
invierten doble tiempo,
y requieren mitad de esfuerzo,

que el piston correspondiente del sistema monocilíndrico, esos mismos émbolos para llegar á una misma presion cualquiera intermedia entre $1^{at}$ y 2, habrán tambien

andado doble camino,
invertido doble tiempo,
y exigido mitad de fuerza,

que el piston correspondiente del sistema monocilíndrico.

En efecto:

Supongamos que los émbolos hayan caminado durante $32^s$ (en las condiciones expresadas en el cap. 1.º), y resultará:

Los $4096^{c^3}$, capacidad primitiva del cilindro mayor, ocupan ahora un espacio igual á la mitad del cilindro mayor + la mitad del cilindro menor, ó sea

$$\frac{4096^{c^3}}{2} + \frac{2048}{2} = 3072^{c^3} \ (\textit{fig. } 133).$$

Luego la presion del aire comprimido entre los émbolos será

$$\frac{4096}{3072} = 1^{at}.333.$$

Fig. 133.

Ahora bien: supongamos que en el sistema monocilíndrico haya bajado el piston 16ˢ (mitad que en el sistema conjugado): el aire ocupará las $^3/_4$ partes del espacio primitivo: y la presion será de

$$\frac{4}{3} = 1^{at},333, \text{ etc., etc. } (\textit{fig. } 134.)$$

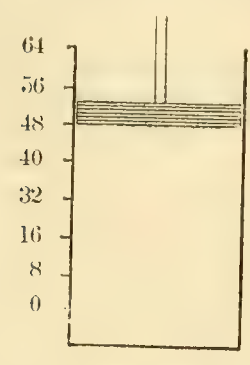



Fig. 134.

En general:

Sea $A$ la capacidad del cilindro mayor conjugado, = á la capacidad del no conjugado.

Sea una misma la altura para ambos, y divídase esta altura en $n$ secciones.

Recórrase cada division en tiempos iguales: 1 segundo, por ejemplo.

Ahora bien: cuando los émbolos hayan andado $t$ segundos, los espacios perdidos en el cilindro mayor, y ganados en el menor, serán como sigue.

En el cilindro mayor conjugado se habrá reducido el aire al espacio

$$A - \frac{t}{n} A;$$

y en el cilindro menor habremos granjeado el espacio

$$\frac{t}{n} \times \frac{A}{2};$$

la suma de ambas cantidades es el espacio total que entre los émbolos ocupa actualmente el aire comprimido,

$$\left(A - \frac{t}{n} A\right) + \left(\frac{t}{n} \times \frac{A}{2}\right) = A\left(1 - \frac{t}{2n}\right)$$

Y la presion en un instante cualquiera será

$$P = \frac{A}{A\left(\frac{1-t}{2n}\right)}$$

Veamos ahora la presion en un solo cilindro:

Cuando el piston único haya caminado durante $t$ segundos, el espacio que contiene comprimido al aire es

$$A - \frac{t}{n} A = A\left(1 - \frac{t}{n}\right);$$

Y, por consiguiente, es la presion

$$P' = \frac{A}{A\left(1 \frac{t}{n}\right)};$$

donde se ve que $P$ no puede ser igual á $P'$, sino multiplicando por 2 el tiempo en la expresion

$$A\left(1 - \frac{t}{2n}\right);$$

ó bien dividiendo por 2 el tiempo en la expresion

$$A\left(1 - \frac{t}{n}\right) \text{ (1).}$$

---

(1) Esto mismo puede deducirse mas fácilmente de la siguiente comparacion:

Para tener aire á $1 \frac{1}{10}$ de atmósfera por el sistema monocilíndrico, será

la presion $= \frac{11}{10}$

y el volúmen $= \frac{10}{11}$.

Para tener aire á $1 \frac{1}{10}$ de atmósfera por el sistema conjugado de dos émbolos diferenciales : : 2 : 1, el volúmen ocupado por el aire será $= \frac{10}{11}$ de la capacidad del cilindro mayor.

Pero los émbolos habrán tenido que andar una fraccion $x$ de la altura, y tendremos:

Volúmen en el cilindro mayor lleno aún de aire......... $1 - x$

Volúmen en el cilindro menor. $\frac{x}{2}$

Volúmen de los dos......... $(1 - x) + \frac{x}{2} = \frac{10}{11}$;

de donde

$$x = \frac{2}{11}.$$

## II.

La presion que, en cualquier momento de la compresion con émbolos conjugados resiste una corona cualquiera de un sistema policilíndrico, es igual á la presion que sostenga en el mismo instante cualquiera otra corona del mismo sistema.

Sea corona 1.ª $= 64^{mod} - 32^{mod} = 32^{mod}$
corona 2.ª $= 32 - 16 = 16$
corona 3.ª $= 16 - 8 = 8$

Admitamos que los émbolos hayan caminado 32 segundos, y tendremos:

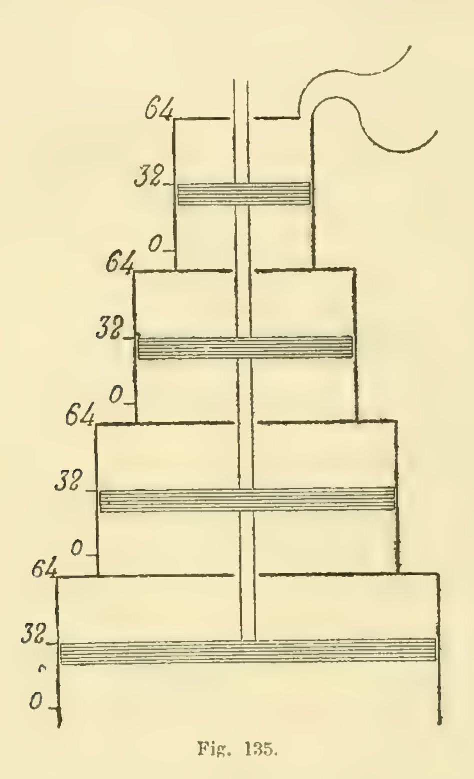



Fig. 135.

Capacidad entre el 1.er émbolo y el 2.º ........................ $= \frac{3}{4}$ del cilindro mayor;

Capacidad entre el 2.º émbolo y el 3.º ........................ $= \frac{3}{4}$ del 2.º cilindro:

Capacidad entre el 3.er émbolo y el 4.º ........................ $= \frac{3}{4}$ del cilindro menor.

---

Luego dividida la altura del cilindro en 11 partes, el piston habrá andado 1, puesto que 10 están llenas de aire comprimido.

Luego el piston ha caminado

$$\frac{\text{altura}}{11}\text{, etc.}$$

Luego el piston del sistema monocilíndrico habrá caminado la mitad;

Luego los émbolos diferenciales habrán andado

$$\frac{\text{altura}}{11} \times 2\text{, etc.}$$

Luego las presiones son:

En el 1.$^{er}$ caso .......................................... $\frac{4}{3}$ de atmósfera;

En el 2.$^{o}$ caso $= \frac{4}{3}$ de 2 atmósferas ........................... $= \frac{8}{3}$ de atmósfera;

En el 3.$^{er}$ caso $= \frac{4}{3}$ de 4 atmósferas ........................... $= \frac{16}{3}$ de atmósfera.

Sostienen, pues, las coronas:

La 1.$^{a}$; $32^{mod} \times \frac{4}{3}$ de atmósfera ........................... $= 42^{k}$

La 2.$^{a}$; $16^{mod} \times \frac{8}{3}$ de atmósfera ........................... $= 42^{k}$

La 3.$^{a}$: $8^{mod} \times \frac{16}{3}$ de atmósfera ........................... $= 42^{k}$

Evidente es ya que lo propio sucederá siendo cualquiera otro el número de los segundos de la ascension ó carrera de los émbolos. Lo que suceda entre dos émbolos, sucederá homólogamente entre otros dos cualesquiera; y, así, siempre tendremos en el momento escogido para discusion, que el producto de

Una corona $\times$ por su presion,

Es igual al producto de otra corona cualquiera por la suya (si ambas coronas corresponden al mismo sistema policilíndrico diferencial).

## III.

No se necesita calcular los volúmenes del aire comprimido para conocer su presion. Si lo he hecho hasta aquí, ha sido para que no desaparezca la representacion imaginativa (*Vorstellung* de los alemanes), que, necesaria para la inteligencia de todo lo nuevo, se desvanece por completo en cuanto se emplean sin cesar las fórmulas abstractas. La invencion está casi reñida con los símbolos analíticos. A lo menos esto me pasa á mí: yo no veo lo nuevo sino en imágen. Lo geométrico me es óbvio; neblinoso lo algebráico, hasta que entro en la region de lo demostrativo.

Así, pues, las presiones son susceptibles de una forma en que solo entren las alturas de los cilindros, desapareciendo sus otras 2 dimensiones.

Sean 2 los cilindros conjugados.

$B$ la base del cilindro mayor;

$\frac{B}{2}$ la base del menor;

$H$ la altura en cada uno;

$n$ el número de divisiones (iguales) que han andado de su carrera los émbolos conjugados.

El aire del cilindro grande, antes de empezar los émbolos á moverse, ocupará un espacio igual á

La base por la altura $= BH$.

Cuando los émbolos hayan recorrido una division, habrá disminuido el espacio del cilindro grande, y aumentado el espacio del cilindro chico (cuya capacidad es $^{1}/_{2}$ de la del grande).

La suma de los 2 espacios será

$$B\left(H-1\right)+\frac{B}{2}\times 1.$$

Cuando los émbolos hayan recorrido 2 divisiones, la suma de los espacios será

$$B\left(H-2\right)+\frac{B}{2}\times 2\ldots\ldots$$

Y, en general, cuando hayan recorrido $n$ divisiones, la suma de los espacios será

$$B\left(H-n\right)+\frac{B}{2}\times n,$$

de donde sale para forma general de una presion cualquiera (cuando los 2 émbolos son : : 2 : 1)

$$= \frac{B\,H}{B\left(H-n\right)+\frac{B}{2}\times n}$$

$$= \frac{B\,H}{B\left(H-n+\frac{n}{2}\right)} = \frac{2\,H}{2\,H-n} = \frac{H}{H-\frac{n}{2}}$$

Pero admitamos que los cilindros grande y chico, no sean precisamente doble el uno que el otro, sino que estén entre sí en una relacion cualquiera; de modo que el cilindro mayor sea al menor

$$:: p : q,$$

Y entonces tendremos:

$$\frac{B\,H}{B\left(H-n\right)+\left(\frac{p}{q}\,B\right)n} = \frac{B\,H\,q}{B\left(H-n\right)q+B p n}.$$

$$\frac{H\,q}{H\,q-n\,q+n\,p} = \frac{H\,q}{H\,q-n\,(q-p}:$$

Expresion independiente de todas las dimensiones, excepto la altura y la relacion de las bases circulares (igual y constante entre 2 cilindros consecutivos de un mismo sistema diferencial), y que da la presion ejercida por 2 émbolos conjugados cualesquiera, despues de andar cualquier número de divisiones de su curso, sean las que quieran las dimensiones absolutas de sus superficies anulares.

# CAPITULO III.

## LOS ÉMBOLOS INTERCALARES DEL SISTEMA DIFERENCIAL.

### I.

Parece que no puede darse nada más favorable que la ley logarítmica de los esfuerzos necesarios para una gran condensacion del aire (1); y, sin embargo, existen todavía medios, en el sistema conjugado, de mejor reparticion de los esfuerzos, ó, lo que es lo mismo, de mayor ahorro final.

Muy fácil es evidenciarlo con un ejemplo.

Supongamos un cilindro intercalar entre los dos que constituyen el más simple organismo diferencial para condensar aire á 2 atmósferas; y sus respectivos émbolos (: : 4 : 3 : 2) sean de las siguientes dimensiones:

El mayor de 64 módulos.
El intercalar de 48 id.
Y el menor de 32 id. (mitad del mayor).

Sea la altura de cada cilindro = 64.

En los fondos, ó tabiques divisorios existentes entre los cilindros, habrá válvulas que se abran de abajo arriba cuando los émbolos suban, y en los émbolos mismos habrá válvulas que tambien se abran en el mismo sentido cuando ellos bajen.

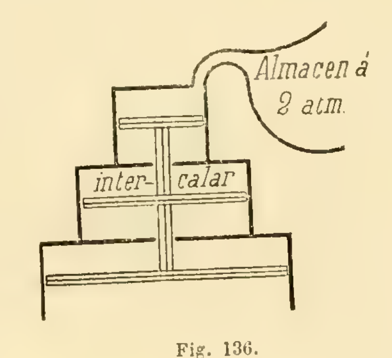


Fig. 136.

Los 3 émbolos se hallan rígidamente conjugados entre sí.

Cuando funcione el aparato, á la 1.ª ascension de los émbolos, los $4096^{c^3}$ (2) de que es capaz el cilindro mayor habrán pasado al cilindro intercalar, donde, reducidos al volúmen de $3072^{c^3}$, se hallarán á la densidad de $\frac{4}{3}$ de atmósfera.

A la bajada siguiente:

1.º El aire que se halla bajo el émbolo intercalar pasará á ponerse encima;

(1) Se sigue suponiendo en este capítulo, como en los dos anteriores, tan enérgica la frigorizacion, que la ley de Gay-Lussac no influye en la de Mariotte.

A la imaginacion del lector toca suplir las válvulas y demás organismos no dibujados: las figuras son símbolos de demostracion.

(2) En rigor no serán centímetros cúbicos, puesto que la superficie de 1 módulo kilogramétrico es menor que 1 centímetro cuadrado.

Y 2.° El cilindro mayor se llenará de nuevo aire, tomado de la atmósfera ambiente.

A la 2.ª ascension, los primitivos $4096^{c^5}$, que ya se hallan comprimidos á $\frac{4}{3}^{at}$ en el cilindro intercalar, entrarán en el cilindro menor; y, reducidos en él á un espacio de $2048^{c^5}$, se encontrarán allí á la densidad de $2^{at}$; y el aire nuevo que habia entrado en el cilindro mayor, llenará ahora el intercalar.

Y así sucesivamente.....

Todas las presiones entre el émbolo mayor y el intercalar quedarán destruidas por la rigidez y cohesion de los materiales, excepto las presiones que actúen sobre la CORONA-DIFERENCIA entre el émbolo mayor y el intercalar; de manera que, al final de la 1.ª ascension, el máximum esfuerzo en la corona del émbolo mayor será de

$$(64^{mod}-48^{mod})\times\frac{4}{3}^{at}\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots = 21^k,333$$

Tambien se destruirán todas las presiones existentes entre el émbolo intercalar y el émbolo menor, exceptuando la de la CORONA-DIFERENCIA entre las bases del cilindro intercalar y del menor; contra la cual corona, y en el último momento de la ascension, obrará una presion máxima de $2^{at}$

$$(48^{mod}-32^{mod})\times 2^{at}\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots = 32^k$$

Y la suma ascenderá á................................ $53^k,333$

(No hay que calcular el almacenaje, porque la presion de la atmósfera ambiente tomará á su cargo el efectuarlo.)

Con un émbolo intercalar ascenderia, pues, á $53^k,3$ el esfuerzo máximo, mientras que, sin intercalar (segun tenemos visto) se necesitarian 64 kilógramos. Hay, pues, una apreciable diferencia.

## II.

Cuestion: ¿Qué sucederia aumentando el número de cilindros intercalares?

Respuesta: Siempre iria aumentando el ahorro de esfuerzo en el momento final.

Otra cuestion: ¿Cómo deben ser los émbolos intercalares?

La respuesta á esta segunda pregunta no es tan sencilla como la contestacion á la anterior; porque, para satisfacer á ella cumplidamente, es indispensable entrar en gran número de pormenores. Solo me contentaré, por ahora, con manifestar que hay dos clases de intercalares sujetos á un órden regular; y que puedan ser muchos los émbolos intercalares que, sin sujecion á órden

ninguno, cabe interponer entre dos cilindros, cuyas bases estén construidas segun una razon geométrica.

Vamos á entrar en este estudio; y, á fin de comparar los resultados con cierta facilidad, supondremos que la base del cilindro mayor es de $2520^{mod}$, y la del menor, igual á 1260 (1).

La altura de ambos cilindros mayor y menor, y la de los intercalares, sea igual á $10^{c}$.

## III.

Examinemos el caso de un intercalar cuya superficie sea igual á 1890 módulos (2).

| | | |
|---|---|---|
| 1.ª corona = $2520^{mod}$ — $1890^{mod}$........................ | = | $630^{mod}$ |
| 2.ª corona = 1890 — 1260 ........................ | = | 630 |
| Presion de $\frac{4^{at}}{3}$ contra la 1.ª corona........................ | = | $840^{k}$ |
| Presion de $2^{at}$ contra la 2.ª........................ | | $1260^{k}$ |
| *Total esfuerzo final*..... | = | $2100^{k}$ |
| Si no hubiésemos tenido intercalar, habria sido ese esfuerzo final. | = | $2520^{k}$ |
| Ahorro de esfuerzo, al fin de la carrera, en favor de este sistema intercalar........................ | | $420^{k}$ |

## IV.

Sean 2 los intercalares; y tengamos:

| | | |
|---|---|---|
| Émbolo mayor (como se ha dicho)........................ | | $2520^{mod}$ |
| 1.er intercalar........................ | | 2100 |
| 2.º intercalar........................ | | 1680 |
| Émbolo menor (3) (segun lo convenido)........................ | | 1260 |
| 1.ª corona = 2520 — 2100........................ | = | $420^{mod}$ |
| 2.ª corona, diferencia de los dos intercalares........................ | = | 420 |
| 3.ª corona = 1680 — 1260........................ | = | 420 |

(1) Luego se verá la comodidad de estos números, por tener muchos divisores.

(2) Estos émbolos son entre sí como los números 4 : 3 : 2.

(3) Estos émbolos son :: 6 : 5 : 4 : 3.

| | | |
|---|---|---|
| Presion final contra la 1.ª corona, | de $\frac{6}{5}$ at.................. = | 504$^k$ |
| Presion final contra la 2.ª | de $\frac{6}{4}$ at.................. = | 630 |
| Presion final sobre la 3.ª | de $\frac{6}{3}$ at.................. = | 840 |
| | *Suma de esfuerzos finales*..... | 1974$^k$ |
| Sin intercalares habria sido el esfuerzo final con 2 émbolos conjugados, segun ya sabemos | .......................... = | 2520$^k$ |
| | *Diferencia á favor del sistema intercalar*..... | 546$^k$ |

V.

Sean 3 los intercalares.

| | |
|---|---|
| Cilindro mayor: base.................................. = | 2520$^{mod}$ |
| Base del 1.$^{er}$ intercalar.................................. = | 2205 |
| 2.º intercalar.................................. = | 1890 |
| 3.$^{er}$ intercalar.................................. = | 1575 |
| Base del cilindro menor (1) (mitad del mayor).................. | 1260 |

| | |
|---|---|
| 1.ª corona: diferencia entre el émbolo mayor y el 1.$^{er}$ intercalar. = | 315$^{mod}$ |
| 2.ª corona: diferencia entre el 1.$^{er}$ intercalar y el 2.º.......... = | 315 |
| 3.ª corona: diferencia entre el 2.º intercalar y el 3.º.......... = | 315 |
| 4.ª corona: diferencia entre el 3.$^{er}$ intercalar y el émbolo menor. = | 315 |

| | | |
|---|---|---|
| Presion final de $\frac{8}{7}$ at. | sobre la 1.ª corona.................. = | 360$^k$ |
| de $\frac{8}{6}$ | sobre la 2.ª.......................... = | 420 |
| de $\frac{8}{5}$ | sobre la 3.ª.......................... = | 504 |
| de $\frac{8}{4}$ | sobre la 4.ª.......................... = | 630 |
| | | 1914$^k$ |
| Presion final de 2 émbolos conjugados sin intercalares | ........... | 2520 |
| | *Diferencia á favor del sistema intercalar*..... = | 606$^k$ |

(1) Estas bases son entre sí :: 8 : 7 : 6 : 5 : 4.

VI.

Inspeccionando comparativamente los anteriores resultados,

| | |
|---|---|
| vemos que el esfuerzo final sin intercalares.................. = | 2520k |
| Con 1 intercalar : : 3, entre 4 : 2............................= | 2100 |
| Lo que da un ahorro de................................... | 420k |
| | 2520 |
| Con 2 intercalares : : 5 : 4, entre 6 : 3.....................= | 1974 |
| Lo que da un ahorro de................................... | 546k |
| | 2520 |
| Con 3 intercalares : : 7 : 6 : 5, entre 8 : 4....... ...........= | 1914 |
| Lo que ahorra.............................................. | 606k |
| | 2520 |
| Con 4 intercalares : : 9 : 8 : 7: 6, entre 10 : 5................= | 1879 |
| Lo que economiza en el momento final........................ | 641k |

Esta comparacion nos hace ver que el uso de los intercalares debe tener un límite en la práctica, por más que sea indefinido el incremento teórico de los ahorros (á medida que crece el número de los intercalares).

En efecto:

De tener 2 émbolos geométricos conjugados, á tener uno más intercalar, va un ahorro de esfuerzo final de 420k en 2560. Bien merece un cilindro intermedio tan considerable economía.

Pero ¿quién por ahorrar solos 35 kilógramos (como va de tener 3 intercalares á tener 4) complicaria el mecanismo con un émbolo más, cuando de seguro los rozamientos habrian de absorber una cantidad mucho mayor que la que por ese émbolo más, pudiera resultar ahorrada?

Cierto es que siempre la suma de las presiones finales economizadas va en aumento; pero la superficie sobre que se ejercen va en disminucion (á medida que el número de estas superficies se aumenta), de manera que necesariamente ha de llegar un caso límite en que se iguale prácticamente lo que se gana con lo que se pierde.

Y, considerando lo que se gasta en fuerza con los rozamientos, juntamente con la necesidad de disminuir complicacion, espacio y dificultades, bien puede asegurarse que, en la práctica, jamás se pasará de uno ó dos cilindros intercalares en estado sólido. (Ya veremos que no existe esta limitacion para los FOROS CONJUGADOS.)

## VII.

Constituyen la primera clase de intercalares estos émbolos que, para condensar aire desde 1 á 2 atmósferas, se interponen entre dos geométricos, de un modo tal, que las superficies consecutivas de todos ellos son entre sí como un trozo cualquiera de la série de los números naturales.

Los émbolos así dispuestos, no poseen la preciosa cualidad que tienen los émbolos en razon geométrica, de que el producto de una corona por su presion es igual, siempre y en cualquier momento de la compresion, al producto de otra corona por su correspondiente presion en el mismo instante.

En los émbolos geométricos no hay dos coronas iguales, puesto que éstas decrecen superficialmente en razon inversa del incremento de las presiones.

En los intercalares segun una série de los números naturales, son iguales en área todas las coronas; y, como las presiones que las últimas soportan son mayores que las que sufren las primeras, de aquí que el producto de una corona por su presion, en un determinado instante, nunca es igual al de otra por la suya.

## VIII.

En primer lugar, ¿habrá números mejores?

En segundo, ¿qué necesidad hay de que los intercalares estén, entre sí y con los geométricos, segun una série de números naturales?

Examinemos algunos casos, suponiendo siempre las áreas de los émbolos geométricos mayor y menor del sistema diferencial, respectivamente iguales $2520^{mod}$ y 1260 (para condensar aire á $2^{at}$).

## IX.

Los émbolos sean

$$: : 8 : 6 : 5 : 4$$

(no en série de números naturales)

Corona 1.ª, $630 \times \frac{2520}{1890}$ ........ = $840^{k}$

Corona 2.ª, $315 \times \frac{2520}{1575}$ ........ = $504^{k}$

Corona 3.ª, $315 \times \frac{2520}{1260}$ ........ = $630^{k}$

| | | |
|---|---|---|
| | 1974 | 2520 |
| Ahorro respecto del sistema sin intercalares ........................ | 546 | |

Resultado igual al de los émbolos

$$: : 6 : 5 : 4 : 3,$$

discutido en la Seccion IV de este capítulo.

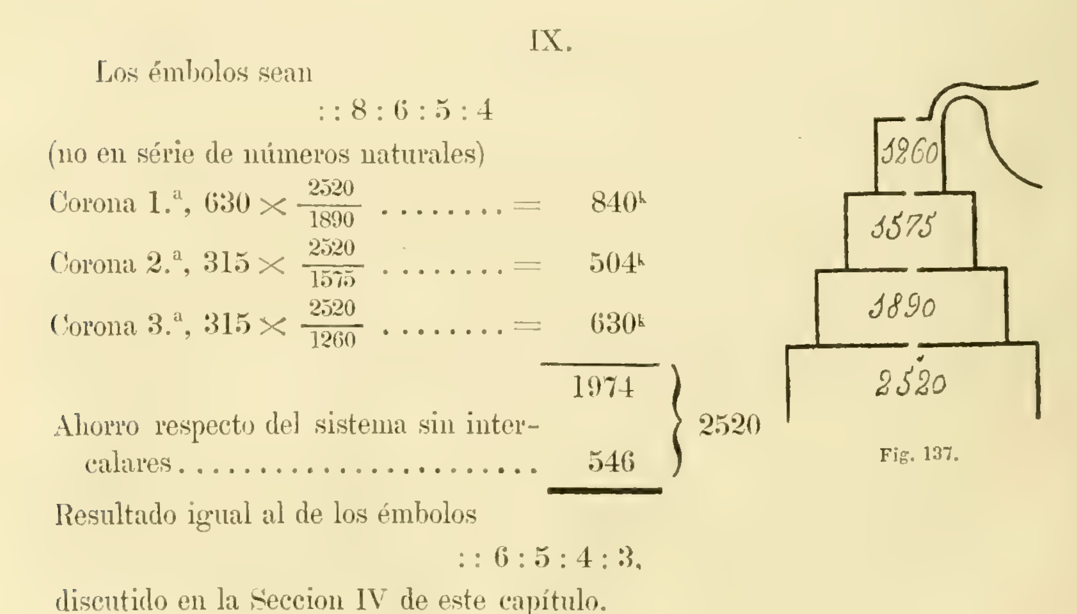



Fig. 137.

## X.

Sean ahora las bases de los cilindros

: : 8 : 7 : 5 : 4;

| | |
|---|---|
| Corona 1.ª, $315 \times \frac{2520}{2205}$ ............ = | 360ᵏ |
| Corona 2.ª, $630 \times \frac{2520}{1575}$ ............ = | 1008 |
| Corona 3.ª, $315 \times \frac{2520}{1260}$ ............ = | 630 |
| | 1998 |
| Sistema de 2 cilindros................ | 2520 |
| Ahorro actual........................ | 522 |
| Ahorro del caso anterior................ | 546 |
| Ventaja á favor del caso anterior......... | 24ᵏ |

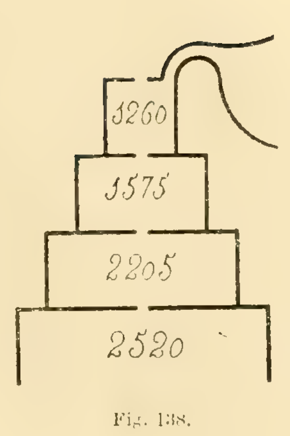


Fig. 138.

## XI.

Sean otros los cilindros,

: : 12 : 8 : 7 : 6;

| | |
|---|---|
| 1.ª corona, $840 \times \frac{2520}{1680}$ ............ = | 1260ᵏ |
| 2.ª corona, $210 \times \frac{2520}{1470}$ ............ = | 360ᵏ |
| 3.ª corona, $210 \times \frac{2520}{1260}$ ............ = | 420ᵏ |
| | 2040 |
| Sistema de los 2 cilindros.............. | 2520 |
| | 480 |
| Ahorro de la Seccion IX................ | 546 |

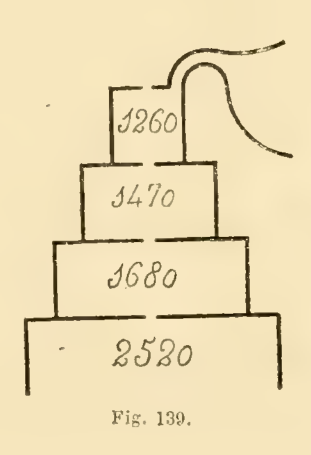


Fig. 139.

Esta combinacion es en 66ᵏ peor que la primera al finalizar la carrera de los émbolos.

## XII.

Supongamos 4 cilindros

: : 12 : 11 : 7 : 6;

| | |
|---|---|
| Corona 1.ª, $210 \times \frac{2520}{2310}$ ............ = | 229ᵏ |
| Corona 2.ª, $840 \times \frac{2520}{1470}$ ............ = | 1440 |
| Corona 3.ª, $210 \times \frac{2520}{1260}$ ............ = | 420 |
| | 2089 |
| Los émbolos geométricos................ | 2520 |
| Ahorro.............................. | 431 |
| Ahorro de la Seccion IX................ | 546 |
| Esta combinacion es en................ | 115ᵏ peor que la primitiva. |

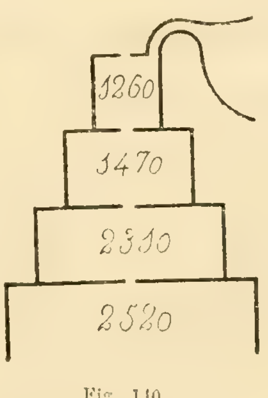


Fig. 140.

## XIII.

Se ve, pues, que hay combinaciones de los émbolos intercalares, expresadas con números enteros, que son mejores que otras; y se ve igualmente que algunas combinaciones dan resultados enteramente iguales.

Pero ¿de qué manera se obtendrá el máximum de ahorro?

## XIV.

Se obtiene el máximum de ahorro, siempre que el producto de una corona por su presion sea igual al producto de otra cualquier corona por la suya, en el mismo instante.

Para esto, los émbolos intercalares tienen que someterse á una razon radical; por lo cual esta segunda clase de intercalares, sujeta á órden, recibirá el nombre de intercalares radicales.

Supongamos que tenemos 5 émbolos geométricos para comprimir aire á 16 atmósferas, y cuyas bases son:

$$:1 \qquad :2 \qquad :4 \qquad :8 \qquad :16$$

Si queremos interponer 1 intercalar entre cada 2 émbolos primarios ó geométricos, tendremos que construir las áreas de modo que sean entre sí

$$:1 : \sqrt{2} \quad : 2 : 2\sqrt{2} \quad : 4 : 4\sqrt{2} : \quad : 8 : 8\sqrt{2} \quad : 16$$

Si quisiéramos interpolar 2 intercalares, las bases serían

$$::1 : \sqrt[3]{2} : \sqrt[3]{2}\sqrt[3]{2} \quad : 2 : 2\sqrt[3]{2} : 2\sqrt[3]{2}\sqrt[3]{2} \quad : 4 : 4\sqrt[3]{2} : 4\sqrt[3]{2}\sqrt[3]{2} \quad : 8 : 8\sqrt[3]{2} : 8\sqrt[3]{2}\sqrt[3]{2} \quad : 16$$

Si hubiéramos de interpolar 3 intercalares, las áreas serían

$$::1 : \sqrt[4]{2} : \sqrt[4]{2}\sqrt[4]{2} : \sqrt[4]{2}\sqrt[4]{2}\sqrt[4]{2} : 2 : 2\sqrt[4]{2} : 2\sqrt[4]{2}\sqrt[4]{2} : 2\sqrt[4]{2}\sqrt[4]{2}\sqrt[4]{2} : 4 : 4\sqrt[4]{2} : 4\sqrt[4]{2}\sqrt[4]{2} : 4\sqrt[4]{2}\sqrt[4]{2}\sqrt[4]{2} : 8 : 8\sqrt[4]{2} : 8\sqrt[4]{2}\sqrt[4]{2} : 8\sqrt[4]{2}\sqrt[4]{2}\sqrt[4]{2} : 16$$

Para 4 intercalares tendríamos

$$::1 : \sqrt[5]{2} : \sqrt[5]{2}\sqrt[5]{2} : \sqrt[5]{2}\sqrt[5]{2}\sqrt[5]{2} : \sqrt[5]{2}\sqrt[5]{2}\sqrt[5]{2}\sqrt[5]{2} : \quad 2 : 2\sqrt[5]{2} : 2\sqrt[5]{2}\sqrt[5]{2} : 2\sqrt[5]{2}\sqrt[5]{2}\sqrt[5]{2} : 2\sqrt[5]{2}\sqrt[5]{2}\sqrt[5]{2}\sqrt[5]{2} : 4 : \text{etc.}$$

Hechas las operaciones, tendremos

:: 1 :      : 2      : 4      : 8
:: 1 : 1,414      : 2 : 2,828      : 4 : 5,656      : 8
:: 1 : 1,260 : 1,587      : 2 : 2,520 : 3,175 : 4 : 5,010 : 6,350 : 8
:: 1 : 1.189 : 1.414 : 1.681 : 2 : 2.378 : etc.

Y de la misma manera que la progresion

$$1260^{mod} : 2520 : 5040 : \ldots\ldots$$

se obtiene multiplicando por 1260 la progresion

$$1 \quad : \quad 2 \quad : \quad 4 \quad : \ldots\ldots$$

del propio modo cualquiera de las progresiones intercalarias que anteceden, multiplicadas por el número adecuado, se convertirá en aquella que corresponda á las dimensiones que deseemos para las áreas de nuestros intercalares radicales.

Así, si necesitáramos interponer un intercalar radical entre 2 émbolos primarios ó geométricos de 2520 y $1260^{mod}$, no tendríamos más que multiplicar por 1260, cada uno de los términos de la progresion $1 : \sqrt{2} : 2$, lo que nos daria

$$1260 : 1260 \times 1{,}414 : 1260 \times 2 = 1260 : 1781{,}6 : 2520.$$

Multiplicando tambien por 1260 la progresion

$$1 : \sqrt[3]{2} : \sqrt[3]{2}\sqrt[3]{2} : 2,$$

obtendríamos los dos intercalares radicales que deben interpolarse entre 1260 y 2520, y resultará

$$1260 : 1260\sqrt[3]{2} : 1260\sqrt[3]{2^2} : 1260 \times 2 = 1260 : 1587{,}6 : 2000{,}4 : 2520.$$

Y, así, siendo 3 los cilindros intercalares, tendremos

$$1260 : 1260\sqrt[4]{2} : 1260\sqrt[4]{2^2} : 1260\sqrt[4]{2^3} : 1260 \times 2 = 1260 : 1498{,}2 : 1781{,}3 : 2119 : 2520.$$

## XV.

Obtenidas de este modo, por interpolacion geométrica, las superficies circulares de los cilindros intercalarios, tendremos, como antes:

1.° El producto de una corona por su presion, es una cantidad constantemente igual al producto de otra corona por la suya en el mismo período de la compresion;

2.° Las presiones son homólogas y comparables entre los cilindros primarios lo mismo que entre los radicales;

3.° La ley logarítmica de los esfuerzos respecto de las compresiones vuelve aquí á aparecer, solo que la base de los logaritmos es una cantidad radical;

Y 4.º Por consiguiente no hay más diferencia entre el sistema primario, cuya razon es un número entero, y este intercalario radical, que el sustituir á esa razon entera, una razon radical, tal como

$$\sqrt{2}\ ;\ \sqrt[3]{2}\ ;\ \sqrt[4]{2}\ ;\ \sqrt[5]{2}\ .....,$$

segun que se quiera interponer

1 cilindro intercalar, ó bien 2, ó bien 3.....

Los esfuerzos serán, por tanto, los logaritmos de las bases

$$\sqrt{2}\ ;\ \sqrt[3]{2}\ ;\ \sqrt[4]{2}.....,$$

menores, por consiguiente, que los logaritmos de la base 2.

## XVI.

Haremos intuitiva esta doctrina por la virtud de algun ejemplo.

Interpolemos un cilindro radical entre los 2 primarios de $2520^{mod}$ y 1260, el cual, como acabamos de ver, debe tener un área $=1781^{mod},6$. Esto equivale á considerar como razon geométrica comun á los tres émbolos la cantidad $\sqrt{2}$.

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1.ª corona $2520^{mod}$ | $-1781^{mod},6 = 738,4 \times \frac{2520}{1781}$ | ........... = | $1044^k$ |
| 2.ª corona 1781,6 | $-1260 = 522 \times \frac{2520}{1260}$ | ........... = | 1044 |
| | | | 2088 |
| Presion final con los dos émbolos primarios | | ................... | 2520 |
| Ahorro que en la presion final produce el intercalar radical | | ....... | $432^k$ |
| Ahorro máximo, dado por el intercalar de la progresion, segun série de números naturales, 4 : 3 : 2 | | ........................... | 420 |
| Ahorro sobre el ahorro en favor del radical | | .................. = | $12^k$ |

## XVII.

Si llevamos más adelante la comprobacion, veremos que, en el sistema intercalar, el máximum corresponde al sistema radical; si bien no es mucha la ventaja que lleva (en los casos mejores) á los intercalares cuyas áreas están entre sí como séries de números naturales.

Émbolo menor primario.................................. $1260^{mod}$

1.$^{er}$ intercalar radical $= 1260 \times \sqrt[3]{2}$ ......................= 1587,60

2.$^{o}$ intercalar radical $= 1260 \times \sqrt[3]{2}\sqrt[3]{2}$ ................ ....= 2000,37

Émbolo mayor primario.................................. 2520

1.$^{a}$ corona $(2520 \text{ mod} - 2000,37 = 519,63) \times \frac{2520}{200,37}$.........= $655^{k}$

2.$^{a}$ corona $(2000,37 - 1587,60 = 412,77) \times \frac{2520}{1587,6}$.........= $655^{k}$

3.$^{a}$ corona $(1587,60 - 1260 = 327,60) \times \frac{2520}{1260}$.........= $655^{k}$

$1965^{k}$

Presion final con solos 2 émbolos primarios.................... 2520

Ahorro de los 2 intercalares en razon $\sqrt[3]{2}$ ....................= $555^{k}$

Ahorro con los intercalares : : 6 : 5 : 4 : 3...............= $546^{k}$

Ahorro sobre el ahorro en favor del sistema intercalario radical..= $9^{k}$

## XVIII.

Interpolemos 3 radicales en razon $\sqrt[4]{2}$ entre los émbolos primarios 1260 y 2520.

Émbolo mayor.............................................. $2520^{mod}$

1.$^{er}$ intercalar radical $= 1260\sqrt[4]{2^3}$ ............................ 2119

2.$^{o}$ intercalar radical $= 1260\sqrt[4]{2^2}$ ............................ 1781,3

3.$^{er}$ intercalar radical $= 1260\sqrt[4]{2}$ ............................ 1498,2

Émbolo menor.............................................. 1260

1.$^{a}$ corona $(2520 \text{ mod} - 2119 = 401) \times \frac{2520}{2119}$ ..........= $476^{k}$

2.$^{a}$ $(2119 - 1781,3 = 337,7) \times \frac{2520}{1781,3}$ ..........= $476^{k}$

3.$^{a}$ $(1781,3 - 1498,2 = 283,1) \times \frac{2520}{1498,2}$ ..........= $476^{k}$

4,$^{a}$ $(1498,2 - 1260 = 238,2) \times \frac{2520}{1260}$ ..........= $476^{k}$

1904

Presion final de los 2 émbolos primarios...................... 2520

Ahorro en favor de los 3 intercalares en razon $\sqrt[4]{2}$ ...........= $616^{k}$

Ahorro con el sistema segun la série de los números naturales : : 8 : 7 : 6 : 5 : 4.............................= 606

Ahorro del sistema radical sobre el de la série de números naturales. $10^{k}$

## XIX.

Los resultados, pues, de los intercalares que siguen una razon geométrica radical, se acercan tanto á los de los que siguen séries de números naturales, que bien pueden tomarse los unos por los otros; solo que en los radicales los productos de 2 coronas por sus presiones son iguales, y en los otros no (1).

Los radicales obedecen á la ley logarítmica de una base radical, y los otros no.

¿Qué clase de problema resuelven, pues, los émbolos intercalares?

Trasladan en gran parte á los primeros momentos de la compresion, las resistencias finales de un sistema cualquiera de émbolos primarios, análogamente á como estos trasladan á los primeros momentos de la compresion las enormes resistencias finales del sistema monocilíndrico.

Me parece que los cálculos hechos en el libro anterior con los émbolos primarios, cuya razon geométrica era 2, son enteramente aplicables á los intercalares, segun una razon radical; puesto que la diferencia de magnitud en la razon, no puede implicar diferencia en la doctrina.

Esto me parece de evidencia.

Pero no juzgo tan evidente lo relativo á los intercalares, segun una série de números naturales. Y, á fin de hacerlo patente con ejemplos, he formado las dos séries de estados que siguen á continuacion, calculados con dimensiones diferentes, para mayor riqueza en los detalles de esta teoría.

---

(1) Esta propiedad pueda acaso ser útil en las técnica. Es mas fácil, á mi entender, construir émbolos segun serie de números naturales, que segun serie de números radicales.

# XX.

*Compresion de aire á 2 atmósferas. Sistema monocilíndrico: base* $32^{mod}$, *altura* 10.

| Camino andado. | Presion. | Descontado el auxilio atmosférico. | Fuerza al fin del período. | Términos medios. |
|---|---|---|---|---|
| 1.° | $32\times\frac{320}{32\times9}=32\times\frac{10}{9}$ | $32\times\left(\frac{10}{9}-1\right)$ | $32\times\frac{1}{9}=3{,}555$ | $1^k{,}777$ |
| 2.° | $32\times\frac{320}{32\times8}=32\times\frac{10}{8}$ | $32\times\left(\frac{10}{8}-1\right)$ | $32\times\frac{2}{8}=8,$ | 5 ,777 |
| 3.° | $32\times\frac{320}{32\times7}=32\times\frac{10}{7}$ | $32\times\left(\frac{10}{7}-1\right)$ | $32\times\frac{3}{7}=13{,}714$ | 10 ,857 |
| 4.° | $32\times\frac{320}{32\times6}=32\times\frac{10}{6}$ | $32\times\left(\frac{10}{6}-1\right)$ | $32\times\frac{4}{6}=21{,}333$ | 17 ,573 |
| 5.° | $32\times\frac{320}{32\times5}=32\times\frac{10}{5}$ | $32\times\left(\frac{10}{5}-1\right)$ | $32\times\frac{5}{5}=32,$ | 26 ,666 |
| 6.° | Almacenaje. | $(2^{at}-1^{at})$ | | 32 |
| 7.° | Almacenaje. | | | 32 |
| 8.° | Almacenaje. | | | 32 |
| 9.° | Almacenaje. | | | 32 |
| 10. | Almacenaje. | | | 32 |
| | | *Resultado* (evidentemente grande)..... | | $222^k{,}650$ |

*Sistema de dos émbolos conjugados* : : 2 : 1.—*Base del cilindro mayor* $32^{mod}$, *altura* 10.—*Se prescinde del almacenaje y del auxilio atmosférico.*

| Camino andado. | Espacios (1). | Presiones. | Fuerza. | Términos medios. |
|---|---|---|---|---|
| 1.° | 288 + 16 = 304 | $\frac{320}{304}$ | $\frac{20}{19}(32-16)^{corona}=16^k{,}842$ | $16^k{,}421$ |
| 2.° | 256 + 32 = 288 | $\frac{320}{288}$ | $\frac{20}{18}(32-16)=17{,}777$ | 17 ,310 |
| 3.° | 224 + 48 = 272 | $\frac{320}{272}$ | $\frac{20}{17}(32-16)=18{,}823$ | 18 ,300 |
| 4.° | 192 + 64 = 256 | $\frac{320}{256}$ | $\frac{20}{16}(32-16)=20$ | 19 ,412 |
| 5.° | 160 + 80 = 240 | $\frac{320}{240}$ | $\frac{20}{15}(32-16)=21{,}333$ | 20 ,666 |
| 6.° | 128 + 96 = 224 | $\frac{320}{224}$ | $\frac{20}{14}(32-16)=22{,}857$ | 21 ,595 |
| 7.° | 96 + 112 = 208 | $\frac{320}{208}$ | $\frac{20}{13}(32-16)=24{,}615$ | 23 ,736 |
| 8.° | 64 + 128 = 192 | $\frac{320}{192}$ | $\frac{20}{12}(32-16)=26{,}666$ | 25 ,640 |
| 9.° | 32 + 144 = 176 | $\frac{320}{176}$ | $\frac{20}{11}(32-16)=29{,}090$ | 27 ,878 |
| 10. | 0 + 160 = 160 | $\frac{320}{160}$ | $\frac{20}{10}(32-16)=32$ | 30 ,545 |
| | | | *Resultado algo mayor de lo que debe ser, por el escaso número de promedios*..... | 221 ,503 |

1) Recuérdese que, segun el *Apéndice* del último Libro, *Seccion III*, no es necesario calcular los espacios, etc.

*Compresion de aire á 2 atmósferas.—Sistema intercalar segun la série de números naturales : : 4 : 3 : 2. Base del cilindro mayor* 32$^{mod}$; *intercalar*, 24; *menor* 16. *Altura*, 10. *Cada corona tiene* 8$^{mod}$.

| Camino andado. | Espacios de los cilindros mayor é intercalar. | Espacios de los cilindros intercalar y menor. | Presiones (1). | Esfuerzos. | Términos medios. |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 288 + 24 = 312 | 216 + 16 = 232 | $\frac{320}{312}+\frac{320}{232}=\frac{40}{39}+\frac{40}{29}$ | $8^{cor}\times\left(\frac{40}{39}+\frac{40}{29}\right)=19^{k},239$ | $18^{k},952$ |
| 2 | 256 + 48 = 304 | 192 + 32 = 224 | $\frac{320}{304}+\frac{320}{224}=\frac{40}{38}+\frac{40}{28}$ | $8\times\left(\frac{40}{38}+\frac{40}{28}\right)=19,849$ | 19 ,541 |
| 3 | 224 + 72 = 296 | 168 + 48 = 216 | $\frac{320}{296}+\frac{320}{216}=\frac{40}{37}+\frac{40}{27}$ | $8\times\left(\frac{40}{37}+\frac{40}{27}\right)=20,500$ | 20 ,171 |
| 4 | 192 + 96 = 288 | 144 + 64 = 208 | $\frac{320}{288}+\frac{320}{208}=\frac{40}{36}+\frac{40}{26}$ | $8\times\left(\frac{40}{36}+\frac{40}{26}\right)=21,300$ | 20, 900 |
| 5 | 160 + 120 = 280 | 120 + 80 = 200 | $\frac{320}{280}+\frac{320}{200}=\frac{40}{35}+\frac{40}{25}$ | $8\times\left(\frac{40}{35}+\frac{40}{25}\right)=21,942$ | 21 ,621 |
| 6 | 128 + 144 = 272 | 96 + 96 = 192 | $\frac{320}{272}+\frac{320}{192}=\frac{40}{34}+\frac{40}{24}$ | $8\times\left(\frac{40}{34}+\frac{40}{24}\right)=22,745$ | 22 ,343 |
| 7 | 96 + 168 = 264 | 72 + 112 = 184 | $\frac{320}{264}+\frac{320}{184}=\frac{40}{33}+\frac{40}{23}$ | $8\times\left(\frac{40}{33}+\frac{40}{23}\right)=23,610$ | 23, 177 |
| 8 | 64 + 192 = 256 | 48 + 128 = 176 | $\frac{320}{256}+\frac{320}{176}=\frac{40}{32}+\frac{40}{22}$ | $8\times\left(\frac{40}{32}+\frac{40}{22}\right)=24,545$ | 24 ,077 |
| 9 | 32 + 216 = 248 | 24 + 144 = 168 | $\frac{320}{248}+\frac{320}{168}=\frac{40}{31}+\frac{40}{21}$ | $8\times\left(\frac{40}{31}+\frac{40}{21}\right)=25,560$ | 25 ,052 |
| 10 | 0 + 240 = 240 | 0 + 160 = 160 | $\frac{320}{240}+\frac{320}{160}=\frac{40}{30}+\frac{40}{20}$ | $8\times\left(\frac{40}{30}+\frac{40}{20}\right)=26,666$ | 26 ,113 |
| | | | | | 221 ,947 |

## *Comparacion.*

| Sistema monocilíndrico. | Sistema de 2 émbolos conjugados. | Sistema de 1 intercalar. | |
|---|---|---|---|
| 1,777 | 16,421 | 18,952 | al fin del 1.$^{er}$ período. |
| 5,777 | 17,310 | 19,541 | 2.° |
| 10,857 | 18,300 | 20,171 | 3.° |
| 17,573 | 19,412 | 20,900 | 4.° |
| 26,666 | 20,666 | 21,621 | 5.° |
| 32 | 21,595 | 22,343 | 6.° |
| 32 | 23,736 | 23,177 | 7.° |
| 32 | 25,640 | 24,077 | 8.° |
| 32 | 27,878 | 25,052 | 9.° |
| 32 | 30,545 | 26,113 | 10.° |
| 222,650 | 221,503 | 221,947 | (2) |

(1) Se ve que, aunque el producto de una corona por su presion no es igual al de la otra por la suya, son similares y correspondientes las leyes que rigen al uno y al otro producto.

(2) Estas sumas serían iguales, á ser mayor el número de promedios.

Con un solo émbolo y un solo cilindro, empieza el primer período de la compresion, cuando los períodos son 10, dadas ciertas magnitudes, exigiendo una fuerza de $1^k,8$, y termina por $32^k$:

Con 2 émbolos primarios : : 2 : 1, esas cantidades se convierten en $16^k,5$ para empezar, y en 30,5 para concluir:

Y con un intercalar : : 4 : 3 : 2, se empieza por $19^k$ y se acaba por 26.

El plano inclinado, que simboliza el progreso de las condensaciones cuando se realizan con émbolos geométricos primarios, se acerca mucho más ahora á la posicion horizontal, permaneciendo, no obstante, el carácter de inclinado; pero, como la integracion del trabajo es siempre una misma cantidad, igual ó próxima á $222^k$, resulta que por el sistema intercalar se traslada á los primeros períodos de la condensacion una cierta cantidad de las resistencias finales inherentes al sistema monocilíndrico, la cual es mucho mayor que la que se traslada á los primeros momentos con el sistema de los 2 émbolos primarios desprovistos de organismos de intercalacion. (Véase la lámina frente á la página 337).

## XXI.

Los resultados de esta mejor distribucion, debidos á los intercalares segun séries de números naturales, no se hacen muy sorprendentes cuando la condensacion es solo de 1 á $2^{at}$; pero llaman grandemente la atencion cuando se evidencian pasando á muchas mas, por ejemplo desde 1 á 16.

*Condensacion de 1 á 16 atmósferas.*

*Sistema monocilíndrico: base $16^{mod}$, altura 16.*

| Camino. | Presiones. | Fuerzas con el auxilio atmosférico. | Términos medios |
|---|---|---|---|
| 1 | $\frac{16}{15}$ | $16^{mod} \times \left(\frac{16}{15} - 1\right) = 1^k,066$ | $1^k,033$ |
| 2 | $\frac{16}{14}$ | $16 \times \left(\frac{16}{14} - 1\right) = 2,285$ | 1 ,675 |
| 3 | $\frac{16}{13}$ | $16 \times \left(\frac{16}{13} - 1\right) = 3,700$ | 2 ,992 |
| 4 | $\frac{16}{12}$ | $16 \times \left(\frac{16}{12} - 1\right) = 5,333$ | 4 ,516 |
| 5 | $\frac{16}{11}$ | $16 \times \left(\frac{16}{11} - 1\right) = 7,272$ | 6 ,302 |
| 6 | $\frac{16}{10}$ | $16 \times \left(\frac{16}{10} - 1\right) = 9,600$ | 8 ,436 |
| 7 | $\frac{16}{9}$ | $16 \times \left(\frac{16}{9} - 1\right) = 12,444$ | 11 ,022 |
| 8 | $\frac{16}{8}$ | $16 \times \left(\frac{16}{8} - 1\right) = 16$ | 14 ,222 |
| 9 | $\frac{16}{7}$ | $16 \times \left(\frac{16}{7} - 1\right) = 20,571$ | 18 ,285 |
| 10 | $\frac{16}{6}$ | $16 \times \left(\frac{16}{6} - 1\right) = 26,666$ | 23 ,618 |
| 11 | $\frac{16}{5}$ | $16 \times \left(\frac{16}{5} - 1\right) = 35,200$ | 30 ,933 |
| 12 | $\frac{16}{4}$ | $16 \times \left(\frac{16}{4} - 1\right) = 48$ | 41 ,600 |
| 13 | $\frac{16}{3}$ | $16 \times \left(\frac{16}{3} - 1\right) = 69,333$ | 58, 666 |
| 14 | $\frac{16}{2}$ | $16 \times \left(\frac{16}{2} - 1\right) = 112$ | 90 ,666 |
| 15 | $\frac{16}{1}$ | $16 \times \left(\frac{16}{1} - 1\right) = 240$ | 176 |
| 16 | Almacenaje. | $16 \times \left(\frac{16}{1} - 1\right) = 240$ | 240 |
| | | *Resultado evidentemente grande.....* | 729 ,966 |

*Condensacion de* 1 *á* 16 *atmósferas.*

5 *émbolos primarios conjugados* : : 16 : 8 : 4 : 2 : 1.—*Base del mayor* 16 *módulos; altura de cada uno*, 16.

| Camino. | Espacios entre el 1.º y el 2.º | Presiones entre ellos. | Fuerza para mover el primer émbolo. | Fuerza para mover los cinco. | Términos medios. |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 240 + 8 = 248 | $\frac{256}{248}$ | 8corona $\times \frac{32}{31}$ = 8,258 | 8,258 × 4 = 33,032 | 32.516 |
| 2 | 224 + 16 = 240 | $\frac{256}{240}$ | 8 $\times \frac{32}{30}$ = 8,533 | 8,533 × 4 = 34,132 | 33,582 |
| 3 | 208 + 24 = 232 | $\frac{256}{232}$ | 8 $\times \frac{32}{29}$ = 8,827 | 8.827 × 4 = 35.308 | 34,720 |
| 4 | 192 + 32 = 224 | $\frac{256}{224}$ | 8 $\times \frac{32}{28}$ = 9,142 | 9,142 × 4 = 36,568 | 35,938 |
| 5 | 176 + 40 = 216 | $\frac{256}{216}$ | 8 $\times \frac{32}{27}$ = 9,481 | 9.481 × 4 = 37,924 | 37,296 |
| 6 | 160 + 48 = 208 | $\frac{256}{208}$ | 8 $\times \frac{32}{26}$ = 9,846 | 9,846 × 4 = 39,384 | 38,654 |
| 7 | 144 + 56 = 200 | $\frac{256}{200}$ | 8 $\times \frac{32}{25}$ = 10,240 | 10,240 × 4 = 40,960 | 40.172 |
| 8 | 128 + 64 = 192 | $\frac{256}{192}$ | 8 $\times \frac{32}{24}$ = 10,646 | 10.646 × 4 = 42.664 | 41,812 |
| 9 | 112 + 72 = 184 | $\frac{256}{184}$ | 8 $\times \frac{32}{23}$ = 11,130 | 11,130 × 4 = 44,520 | 43,592 |
| 10 | 96 + 80 = 176 | $\frac{256}{176}$ | 8 $\times \frac{32}{22}$ = 11.636 | 11.636 × 4 = 46.544 | 45,532 |
| 11 | 80 + 88 = 168 | $\frac{256}{168}$ | 8 $\times \frac{32}{21}$ = 12,190 | 12.190 × 4 = 48.760 | 47.652 |
| 12 | 64 + 96 = 160 | $\frac{256}{160}$ | 8 $\times \frac{32}{20}$ = 12,800 | 12,800 × 4 = 51,200 | 49,980 |
| 13 | 48 + 104 = 152 | $\frac{256}{152}$ | 8 $\times \frac{32}{19}$ = 13,474 | 13,474 × 4 = 53,896 | 52.548 |
| 14 | 32 + 112 = 144 | $\frac{256}{144}$ | 8 $\times \frac{32}{18}$ = 14,222 | 14,222 × 4 = 56,888 | 55,392 |
| 15 | 16 + 120 = 136 | $\frac{256}{136}$ | 8 $\times \frac{32}{17}$ = 15,058 | 15,058 × 4 = 60,232 | 58,560 |
| 16 | 0 + 128 = 128 | $\frac{256}{128}$ | 8 $\times \frac{32}{16}$ = 16 | 16 × 4 = 64 | 62,116 |
| | | | | | 710,062 |

*Condensacion de* 1 *á* 16 *atmósferas.—*5 *émbolos primarios, iguales respectivamente á* 16, 8, 4, 2, 1: 4 *intercalares; cada uno está con su anterior primario* : : 4 : 3.—*Los intercalares están entre sí* : : 12 : 6 : 3 : 1,5.

| Camino andado. | Espacios del cilindro mayor y su intercalar. | Espacios del primer intercalar y el 2.º émbolo primario. | Presiones en estos cilindros. | Fuerza necesaria para mover el primer émbolo primario y su intercalar. | Fuerza para mover los 9 émbolos. | Términos medios. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 240 + 12 = 252 | 180 + 8 = 188 | $\frac{256}{252}+\frac{256}{188}$ | 4corona $\left(\frac{64}{63}+\frac{64}{47}\right)$ = 9,51 | 4 × 9,51 = 38k,04 | 37k,68 |
| 2 | 224 + 24 = 248 | 168 + 16 = 184 | $\frac{256}{248}+\frac{256}{184}$ | 4 $\left(\frac{64}{62}+\frac{64}{46}\right)$ = 9,69 | 4 × 9,69 = 38 ,76 | 38 ,40 |
| 3 | 208 + 36 = 244 | 156 + 24 = 180 | $\frac{256}{244}+\frac{256}{180}$ | 4 $\left(\frac{64}{61}+\frac{64}{45}\right)$ = 9,88 | 4 × 9,88 = 39 ,52 | 39 ,14 |
| 4 | 192 + 48 = 240 | 144 + 32 = 176 | $\frac{256}{240}+\frac{256}{176}$ | 4 $\left(\frac{64}{60}+\frac{64}{44}\right)$ = 10,11 | 4 × 10,11 = 40 ,44 | 39 ,98 |
| 5 | 176 + 60 = 236 | 132 + 40 = 172 | $\frac{256}{236}+\frac{256}{172}$ | 4 $\left(\frac{64}{59}+\frac{64}{43}\right)$ = 10,29 | 4 × 10,29 = 41 ,16 | 40 ,80 |
| 6 | 160 + 72 = 232 | 120 + 48 = 168 | $\frac{256}{232}+\frac{256}{168}$ | 4 $\left(\frac{64}{58}+\frac{64}{42}\right)$ = 10,51 | 4 × 10,51 = 42 ,04 | 41 ,60 |
| 7 | 144 + 84 = 228 | 108 + 56 = 164 | $\frac{256}{228}+\frac{256}{164}$ | 4 $\left(\frac{64}{57}+\frac{64}{41}\right)$ = 10,73 | 4 × 10,73 = 42 ,92 | 42 ,48 |
| 8 | 128 + 96 = 224 | 96 + 64 = 160 | $\frac{256}{224}+\frac{256}{160}$ | 4 $\left(\frac{64}{56}+\frac{64}{40}\right)$ = 10,97 | 4 × 10,97 = 43 ,88 | 43 ,40 |
| 9 | 112 + 108 = 220 | 84 + 72 = 156 | $\frac{256}{220}+\frac{256}{156}$ | 4 $\left(\frac{64}{55}+\frac{64}{39}\right)$ = 11,21 | 4 × 11,21 = 44 ,84 | 44 ,36 |
| 10 | 96 + 120 = 216 | 72 + 80 = 152 | $\frac{256}{216}+\frac{256}{152}$ | 4 $\left(\frac{64}{54}+\frac{64}{38}\right)$ = 11,47 | 4 × 11,47 = 45 ,88 | 45 ,36 |
| 11 | 80 + 132 = 212 | 60 + 88 = 148 | $\frac{256}{212}+\frac{256}{148}$ | 4 $\left(\frac{64}{53}+\frac{64}{37}\right)$ = 11,74 | 4 × 11,74 = 46 ,96 | 46 ,42 |
| 12 | 64 + 144 = 208 | 48 + 96 = 144 | $\frac{256}{208}+\frac{256}{144}$ | 4 $\left(\frac{64}{52}+\frac{64}{36}\right)$ = 12,03 | 4 × 12,03 = 48 ,12 | 47 ,54 |
| 13 | 48 + 156 = 204 | 36 + 104 = 140 | $\frac{256}{204}+\frac{256}{140}$ | 4 $\left(\frac{64}{51}+\frac{64}{35}\right)$ = 12,33 | 4 × 12,33 = 49 ,32 | 48 ,72 |
| 14 | 32 + 168 = 200 | 24 + 112 = 136 | $\frac{256}{200}+\frac{256}{136}$ | 4 $\left(\frac{64}{50}+\frac{64}{34}\right)$ = 12,64 | 4 × 12,64 = 50 ,56 | 49 ,94 |
| 15 | 16 + 180 = 196 | 12 + 120 = 132 | $\frac{256}{196}+\frac{256}{132}$ | 4 $\left(\frac{64}{49}+\frac{64}{33}\right)$ = 12,98 | 4 × 12,98 = 51 ,92 | 51 ,24 |
| 16 | 0 + 192 = 192 | 0 + 128 = 128 | $\frac{256}{192}+\frac{256}{128}$ | 4 $\left(\frac{64}{48}+\frac{64}{32}\right)$ = 13,30 | 4 × 13,30 = 53 ,20 | 52 ,56 |
| | | | | | | 709 ,62 |

*Comparacion (aire á 16at).*

| Sistema monocilíndrico. | Sistema de los 5 émbolos primarios. | Sistema de los intercalares. |
|---|---|---|
| 1,03 | 32,52 | 37,68 |
| 1,67 | 33,58 | 38,40 |
| 2,99 | 34,72 | 39,14 |
| 4,52 | 35,94 | 39,98 |
| 6,30 | 37,30 | 40,80 |
| 8,44 | 38,65 | 41,60 |
| 11,02 | 40,17 | 42,48 |
| 14,22 | 41,81 | 43,40 |
| 18,28 | 43,59 | 44,36 |
| 23,62 | 45,53 | 45,36 |
| 30,93 | 47,65 | 46,42 |
| 41,60 | 49,98 | 47,54 |
| 58,67 | 52,55 | 48,72 |
| 90,67 | 55,39 | 49,94 |
| 176 | 58,56 | 51,24 |
| 240 | 62,12 | 52,56 |
| 729,96 | 710,06 | 709,62 |

El resultado de la 1.ª columna es evidentemente demasiado grande por el corto número de promedios tomado: pero, visto ya que es, y tiene que ser, una cantidad constante el tránsito de una densidad á su doble, sea cualquiera el recurso á que apelemos para la compresion por medio de cilindros, excusado parece un trabajo prolijo (y ya sin efecto) para obtener resultados mas coincidentes; tanto mas cuanto que el fin principal de los anteriores estados es patentizar en Vorstellungen que, por el sistema intercalar, los esfuerzos iniciales y finales se acercan mucho más que por cualquier otro sistema.

Con intercalares estos esfuerzos son

: : 37 : 52 (casi : : 5 : 7½)

Con émbolos primarios sin intercalacion

: : 32 : 62 (casi : : 1 : 2)

Lo cual quiere decir, que si en el caso del cilindro único se pasa desde $1^k$ á 240, esos colosales esfuerzos del fin se han repartido, por el sistema intercalar, desde el principio hasta el término de la carrera de los émbolos, con marcada tendencia á la igualdad (aunque sin anular el órden ascendente).

## XXII.

Otro objeto de grandísima importancia tienen los anteriores estados, por lo cual no he creido excusado el entrar en tantos pormenores.

En el sistema intercalar, compuesto de los cinco cilindros primarios de bases

:: 16 : 8 : 4 : 2 : 1.

y de los intercalares

:: 12 : 6 : 3 : 1,5.

se dividen las 8 coronas compresoras en 4 pares consecutivos y decrecientes en razon geométrica:

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1.er par...... | corona = $16^{mod}$ — 12 | | diferencia $4^{mod}$ |
| | corona = 12 — 8 | | |
| 2.º par...... | corona = $8^{mod}$ — 6 | | diferencia $2^{mod}$ |
| | corona = 6 — 4 | | |
| 3.er par...... | corona = $4^{mod}$ — 3 | | diferencia $1^{mod}$ |
| | corona = 3 — 2 | | |
| 4.º par...... | corona = $2^{mod}$ — 1,5 | | diferencia $\frac{1}{2}^{mod}$ |
| | corona = 1,5 — 1 | | |

Y, así como en el sistema de émbolos primarios geométricos el producto de una corona por su presion es igual al de cualquiera otra por la suya (lo que tambien es cierto en el sistema intercalar radical), tendremos que,

Teorema. En el sistema de un intercalar segun série de números naturales, la suma de los esfuerzos que requiere un par, es igual á la suma de los que requiere cualquier otro par en el mismo período de la condensacion.

Así, pues, averiguada en el último estado correspondiente al sistema intercalar, la suma de los esfuerzos que el primer par exigia, pudimos sencillamente computar el esfuerzo total necesario para moverse los nueve émbolos, multiplicando por 4 (número de los pares), la suma de aquellos esfuerzos relativos al primer par.

## XXIII.

El teorema es mas general todavía. Si entre cada dos de los 5 émbolos primarios siguientes

: : 64 : 32 : 16 : 8 : 4

quisiéramos interponer 3 intercalares segun série de números naturales (1), por ejemplo : : 7 : 6 : 5, nos habria de resultar el conjunto de los 17 émbolos siguientes:

64 : 56 : 48 : 40 : 32 : 28 : 24 : 20 : 16 : 14 : 12 : 10 : 8 : 7 : 6 : 5 : 4;

(1) La frase (que tanto estamos repitiendo), *segun série de números naturales*, ha de entenderse aplicada á los émbolos (que efectuan la compresion entre 1 y 2 atmósferas), cuando los números que expresan sus mútuas relaciones han sido reducidos á su más simple expresion. Así, 64 : 56 : 48 : 40 : 32 no aparecen entre sí segun una série de números naturales; pero lo están si dividimos por 8; : : 8 : 7 : 6 : 5 : 4, etc.

las coronas de los cuales no se dividirian ya por pares, sino por secciones decrecientes en razon geométrica:

| | | |
|---|---|---|
| Seccion 1.ª.... | 64 — 56<br>56 — 48<br>48 — 40<br>40 — 32 | diferencia de émbolos, que forma las 4 coronas 1.$^{as}$.................. = 8$^{mod}$ |
| Seccion 2.ª..... | 32 — 28<br>28 — 24<br>24 — 20<br>20 — 16 | diferencia comun á las 4 coronas 2.$^{as}$ = 4 |
| Seccion 3.ª..... | 16 — 14<br>14 — 12<br>12 — 10<br>10 — 8 | diferencia comun á las 4 coronas 3.$^{as}$ = 2 |
| Seccion 4.ª..... | 8 — 7<br>7 — 6<br>6 — 5<br>5 — 4 | diferencia comun á las 4 coronas 4.$^{as}$ = 1 |

Entendido esto, el principio anterior, expresado en toda su generalidad, debe enunciarse así:

TEOREMA.

La suma de los esfuerzos que, en el sistema intercalar (segun série de números naturales entre 1 y $2^{at}$) exije una seccion de coronas iguales, es igual á la suma de los esfuerzos que, en el mismo instante de la condensacion, exija cualquier otra seccion.

## XXIV.

Luego el tránsito de una densidad á su doble, exije una cantidad constante de fuerza (se entiende, permaneciendo idéntico el aparato de cilindros, el tiempo y el camino recorrido por los émbolos).

Luego, la suma de los esfuerzos que exijen LAS SECCIONES es el logaritmo de la presion que las secciones realizan (si la primera seccion exije $75^k$ para allegar aire á $2^{at}$, la 2.ª seccion exije tambien otros $75^k$ para condensar aire á $4^{at}$; la 3.ª seccion igualmente $75^k$ para recondensar á $8^{at}$, etc.); de modo que,

1.° Sumando los esfuerzos, tendremos:

para obtener aire á $2^{at}$, fuerza como 1;
para obtener aire á $4^{at}$, fuerza como 2;
para obtener aire á $8^{at}$, fuerza como 3;
para obtener aire á $16^{at}$, fuerza como 4, etc.

De nuevo aparece la ley logarítmica; solo que, con intercalares (segun série de números naturales), la base es una suma : es la integracion de los esfuerzos que una seccion requiere para pasar de una densidad á su doble.

Y 2.° Con intercalares de cualquier clase, la condensacion está representada por un plano inclinado, que se acerca tanto más á la horizontalidad, cuanto mayor es el número de los intercalares. (Véase el correspondiente diagrama, frente á la pág. 337).

# APÉNDICES AL CAPÍTULO III.

## I.

La ley del ahorro final en las presiones de los intercalares segun série de números naturales, es la siguiente.

Supongamos varios sistemas de émbolos conjugados, primarios é intercalares consecutivos.

: : 2 : 1
: : 4 : 3 : 2
: : 6 : 5 : 4 : 3
: : 8 : 7 : 6 : 5 : 4
: : 10 : 9 : 8 : 7 : 6 : 5
: : . . . . . (1)

Supongamos siempre igual á $B$ el émbolo mayor.

Las presiones, al terminar la carrera de los émbolos, serán respectivamente:

$$\left(\frac{2}{1}\right) \text{ de } \frac{B}{2}$$
$$\left(\frac{4}{3}+\frac{4}{2}\right) \text{ de } \frac{B}{4}$$
$$\left(\frac{6}{5}+\frac{6}{4}+\frac{6}{3}\right) \text{ de } \frac{B}{6}$$
$$\left(\frac{8}{7}+\frac{8}{6}+\frac{8}{5}+\frac{8}{4}\right) \text{ de } \frac{B}{8}$$
$$\left(\frac{10}{9}+\frac{10}{8}+\frac{10}{7}+\frac{10}{6}+\frac{10}{5}\right) \text{ de } \frac{B}{10}$$

Estas expresiones son iguales á las siguientes:

$$1 \times 2 \text{ de } \frac{B}{2}$$
$$\left(\frac{1}{3}+\frac{1}{2}\right) \times 4 \text{ de } \frac{B}{4}$$
$$\left(\frac{1}{5}+\frac{1}{4}+\frac{1}{3}\right) \times 6 \text{ de } \frac{B}{6}$$
$$\left(\frac{1}{7}+\frac{1}{6}+\frac{1}{5}+\frac{1}{4}\right) \times 8 \text{ de } \frac{B}{8}$$
$$\left(\frac{1}{9}+\frac{1}{8}+\frac{1}{7}+\frac{1}{6}+\frac{1}{5}\right) \times 10 \text{ de } \frac{B}{10}$$

Y estas son iguales á las que siguen.

Caso 1.°, $B \times (1)$

Caso 2.°, $B \times \left(\frac{1}{2}+\frac{1}{3}\right)$

Caso 3.°, $B \times \left(\frac{1}{3}+\frac{1}{4}+\frac{1}{5}\right)$

Caso 4.°, $B \times \left(\frac{1}{4}+\frac{1}{5}+\frac{1}{6}+\frac{1}{7}\right)$

Caso 5.° $B \times \left(\frac{1}{5}+\frac{1}{6}+\frac{1}{7}+\frac{1}{8}+\frac{1}{9}\right)$

Y, en general, caso emésimo,

$$B \times \left(\ldots\ldots + \frac{1}{2m-3}+\frac{1}{2m-2}+\frac{1}{2m-1}\right)$$

Inspeccionando estos productos, se ve que una expresion difiere de la siguiente, en que del paréntesis de la 1.ª se quita para formar el paréntesis de la 2.ª, el quebrado 1.°, y se introducen otros dos, cuya suma es siempre menor que el quebrado suprimido.

En efecto: para formar el paréntesis del caso 5.° hemos suprimido en el paréntesis del 4.° el quebrado $\frac{1}{4}$, y hemos agregado los dos $\frac{1}{8}+\frac{1}{9}$, que suman menos que el $\frac{1}{4}$ eliminado (2).

Luego la 5.ª expresion es menor que la 4.ª

Luego, etc.....

Esto nos manifiesta que el uso de los intercalares no tiene límite teórico, pero que debe tenerlo en la práctica. De cada paréntesis se retira el primer quebrado, y se agregan al paréntesis inmediato otros dos quebrados, cuya suma produce una fraccion que, transformada convenientemente, tiene por numerador la suma de los denominadores, y por

(1) Dado el embolo mayor, los demás decrezcan segun una série de numeros naturales.

(2) $$\frac{1}{4} = \frac{18}{72} > \left(\left(\frac{1}{8}+\frac{1}{9}\right) = \left(\frac{9}{72}+\frac{8}{72}\right) = \frac{17}{72}\right)$$

denominador el producto de los mismos: esta fraccion (suma de los dos quebrados que se agregan) difiere mucho, en los primeros paréntesis, del quebrado suprimido; pero, pasadas las primeras expresiones (cuando las operaciones del suprimir quebrados y agregar otros, se han repetido algunas veces), difiere tan poco lo que se quita de lo que se agrega, que los paréntesis consecutivos son casi iguales, aunque indefinidamente decrecientes.

Así (suponiendo siempre la base del cilindro mayor igual á 2520), los valores de los precedentes productos serán..... (Véase la página siguiente.)

## II.

El producto de la corona 1.ª (diferencia entre el émbolo mayor y el primer intercalar) multiplicada por su presion, es menor proporcionalmente, mientras mayor es el número de intercalares radicales entre 2 émbolos primarios.

Así, suponiendo que los émbolos primarios sean entre sí :: 2 : 1, tendremos para el esfuerzo final la ley siguiente:

$$\left(\left(2^{mod}-1\right)\times\frac{2^{at}}{1}\right)\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots = 2^{k}$$

$$\left(\left(2-\sqrt{2}\right)\times\frac{2}{\sqrt{2}}\right)\times 1^{interc}\Big) < \left(\left(2-1\right)\times 1\right)\ ;\ 1^{k},656 < 2^{k}\ (1)$$

$$\left(\left(2-\sqrt[3]{2^2}\right)\times\frac{2}{\sqrt[3]{2^2}}\right)\times 2^{interc}\Big) < \left(\left(2-\sqrt{2}\right)\times\frac{2}{\sqrt{2}}\right)\ ;\ 1^{k},560 < 1^{k},650$$

$$\left(\left(2-\sqrt[4]{2^3}\right)\times\frac{2}{\sqrt[4]{2^3}}\right)\times 3^{interc}\Big) < \left(\left(2-\sqrt[3]{2^2}\right)\times\frac{2}{\sqrt[3]{2^2}}\right)\ ;\ 1^{k},516 < 1^{k},560$$

$$\left(\left(2-\sqrt[5]{2^4}\right)\times \text{etc.}\right)$$

Los sustraendos $2^{\frac{1}{2}}, 2^{\frac{2}{3}}, 2^{\frac{3}{4}}, 2^{\frac{4}{5}}$ ...... van cada vez siendo mayores; y por tanto, cada vez menores las diferencias

$$\left(2-2^{\frac{1}{2}}\right), \left(2-2^{\frac{2}{3}},\right) \left(2-2^{\frac{3}{4}}\right) \ldots\ldots$$

De otra parte, los cuocientes

$$\frac{2}{2^{\frac{1}{2}}},\quad \frac{2}{2^{\frac{2}{3}}},\quad \frac{2}{2^{\frac{3}{4}}}\quad \ldots\ldots\ \ldots\ldots$$

tambien van siendo cada vez menores, por lo mismo que los divisores son cada vez más grandes.

De consiguiente, los productos de una diferencia cada vez menor por un cuociente igualmente menor cada vez, serán necesariamente cada vez menores.

Y llegan á serlo tanto, que, aun multiplicados esos productos por números iguales á los índices de los radicales (respectivamente), los nuevos productos son cantidades progresivamente decrecientes; si bien la diferencia entre dos consecutivos se hace constantemente menor hasta llegar á ser insignificante y poderse despreciar.

---

(1) Efectuadas las operaciones, resulta:

$$\left(2000^{mod}-1000\right)\times\frac{2000}{1000}\ \ldots\ldots = 2000^{k}$$

$$\left(2000-1444\right)\times\frac{2000}{1444}\times 1^{interc} = 1656^{k}$$

$$\left(2000-1587{,}4\right)\times\frac{2000}{1587{,}4}\times 2^{interc} = 1560^{k}$$

$$\left(2000-1681\right)\times\frac{2000}{1681}\times 3^{interc} = 1516^{k}$$

| | | Diferencias consecutivas. |
|---|---|---|
| $B$ ............................................................ | $2520^k$ | |
| $B\left(\frac{1}{2}+\frac{1}{3}\right)=2520\times\frac{5}{6}=2520-2520\times\frac{1}{6}=$ .................... | 2100 | |
| *Ahorro* ....................................= | 420 | 420 |
| | $2520^k$ | |
| $B\left(\frac{1}{3}+\frac{1}{4}+\frac{1}{5}\right)=2520\times\frac{47}{60}=2520\times\left(\frac{5}{6}-\left(\frac{1}{2}-\left(\frac{1}{4}+\frac{1}{5}\right)\right)\right)=2520\times\left(\frac{5}{6}-\frac{1}{20}\right)=$ .................... | 1974 | 126 |
| *Ahorro* ....................................= | 546 | |
| | $2520^k$ | |
| $B\left(\frac{1}{4}+\frac{1}{5}+\frac{1}{6}+\frac{1}{7}\right)=2520\times\frac{319}{420}=2520\left(\frac{47}{60}-\left(\frac{1}{3}-\left(\frac{1}{6}+\frac{1}{7}\right)\right)\right)=2520\times\left(\frac{47}{60}-\frac{1}{42}\right)=$ .......... | 1914 | 60 |
| *Ahorro* ....................................= | 606 | |
| | $2520^k$ | |
| $B\left(\frac{1}{5}+\frac{1}{6}+\frac{1}{7}+\frac{1}{8}+\frac{1}{9}\right)=2500\times\left(\frac{319}{420}-\left(\frac{1}{4}-\left(\frac{1}{8}+\frac{1}{9}\right)\right)\right)=2520\times\left(\left(\frac{319}{420}-\frac{1}{72}\right)=\left(\frac{22548}{30240}\right)\right)$ .. | 1879 | 35 |
| *Ahorro* ....................................= | 641 | |
| | $2520^k$ | |
| $B\left(\frac{1}{6}+\frac{1}{7}+\frac{1}{8}+\frac{1}{9}+\frac{1}{10}+\frac{1}{11}\right)=2520\times\left(\frac{22548}{30240}-\left(\frac{1}{5}-\left(\frac{1}{10}+\frac{1}{11}\right)\right)\right)$ .................... | 1856 | 23 |
| *Ahorro* ....................................= | 664 | |
| | $2520^k$ | |
| $B\left(\frac{1}{7}+\frac{1}{8}+\frac{1}{9}+\frac{1}{10}+\frac{1}{11}+\frac{1}{12}+\frac{1}{13}\right)=$ .................... | 1840 | 16 |
| *Ahorro* .................................... | 680 | |

# CAPÍTULO IV.

## FORMAS DE LOS ÉMBOLOS CONJUGADOS DEL SISTEMA DIFERENCIAL.

### COMPRESION POR ESCALONES.

Las teorías explanadas en los capítulos precedentes necesitarian—para su realizacion en aparatos industriales—un trabajo técnico de pormenores y desarrollos, que, por su ilimitada extension, no consiente el carácter de esta obra. Mas, sin descender á la técnia propiamente dicha, juzgo necesario decir algo de ciertas formas, con tanto más motivo cuanto que el estudio de esas formas ha de conducirnos á un procedimiento especial de condensacion: la compresion por escalones.

I.

Por escasa que fuese la carrera de los émbolos conjugados, sus cilindros ocuparian un espacio y una longitud considerables.

Esto no sería, de cierto, inconveniente tratándose de comprimir aire por la fuerza de las mareas, porque siempre en las playas donde se colocasen los aparatos de compresion sobraria sitio para ellos.

Pero, en la mayor parte de los otros casos que pudieran ocurrir (como la utilizacion de un salto de agua en país montañoso), siempre esa necesidad de tanto espacio presentaria graves inconvenientes, sin contar con los puramente económicos, ó de gasto inicial de la construccion, etc.

Una carrera de solos 50 centímetros exigiria una longitud de muchos metros para los 9 aparatos estudiados en la Seccion XXI del cap. anterior, página 368, si los cilindros se colocaban á continuacion unos de otros, contando, por supuesto, con los espesores de los émbolos y de los tabiques divisorios, cajas estoperas, etc.

Conveniente, pues, será pensar en disposiciones que ahorren espacio y longitud.

II.

Ante todo debe llevarse en cuenta, á fin de que el trabajo de la condensacion no resulte intermitente, que es preciso un doble juego de cilindros conjugados.

En efecto: solamente cuando los émbolos caminan desde el cilindro mayor hácia el menor, es cuando, hasta ahora, hemos verificado el trabajo de la condensacion; pues cuando caminan en direccion contraria (es decir, desde el cilindro menor hácia el mayor), no hacen otra cosa que colocar el aire en la disposicion conveniente para condensar á la carrera inmediata. Dispuestos los dos juegos de cilindros como indica la figura, no puede haber huelga ninguna. Mientras una série condensa, la otra se prepara.

Pero esta necesidad del doble juego de cilindros nos sorprende ahora como un obstáculo más para economizar emplazamiento.

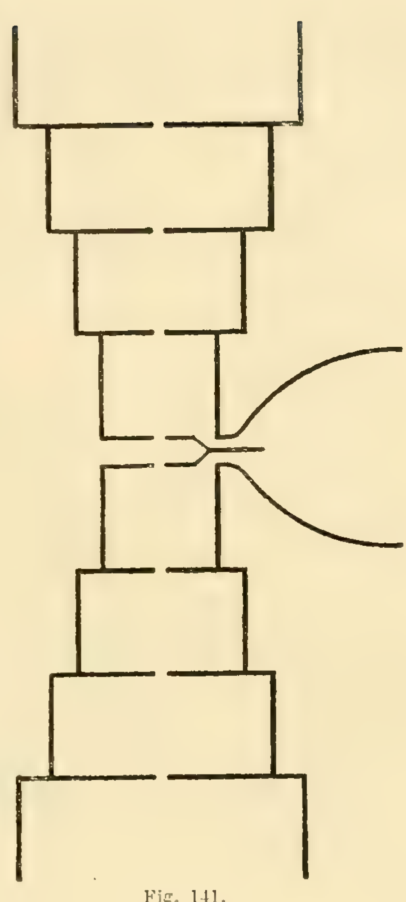


Fig. 141.

## III.

Por la facilidad de la exposicion he descrito siempre como de simple efecto nuestros cilindros conjugados.

Pero nada más fácil que convertirlos en cilindros de doble efecto.

Los 2 cilindros de la *figura* 143 pueden prestar el mismo servicio que los

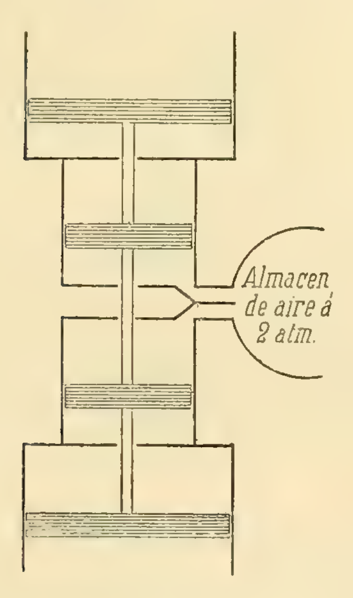



Fig. 142.

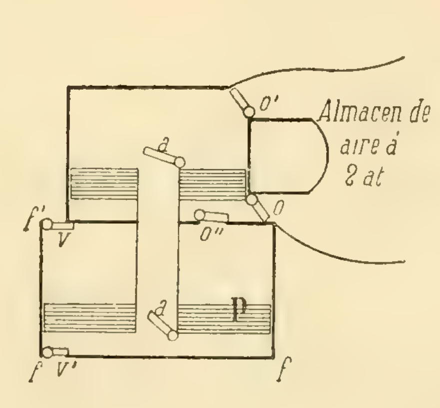



Fig. 143.

4 de la 142, si el vástago conjugador es hueco, y si el juego de las válvulas es como la *figura* 143 simboliza (1).

Al bajar los émbolos sucede lo siguiente:

1.° El aire que está entre el piston y el fondo *ff* pasa, por dentro del vástago, que es hueco, á la parte superior del cilindro chico, abriendo las válvulas *a a*.

2.° El aire, ya comprimido á $2^{atm}$, existente entre el piston chico y el fondo *f'*, pasa al almacen, abriendo la válvula *o:* las válvulas *o'* y *o''* están cerradas mientras tanto, por solicitarlas al efecto presiones superiores por un lado que por otro.

3.° La válvula *v* se abre para renovar la provision de aire atmosférico; y la válvula *v'* está mientras tanto cerrada, por ser la presion interna superior á la presion externa.

Al subir los émbolos, estarán abiertas las válvulas *v'*, *o''* y *o'*; y se mantendrán cerradas las válvulas *v*, *aa* y *o*.

La *figura* 143 tiene ya la mitad de altura que los 4 cilindros de la 142, y, generalizando lo que acabamos de exponer, y haciendo constantemente uso de un vástago hueco para establecer comunicaciones entre los cilindros, todo juego de los de simple efecto puede funcionar como de doble efecto, ahorrando, por consiguiente, la mitad del espacio que el doble juego de compresores exigiria si la condensacion no habia de ser intermitente.

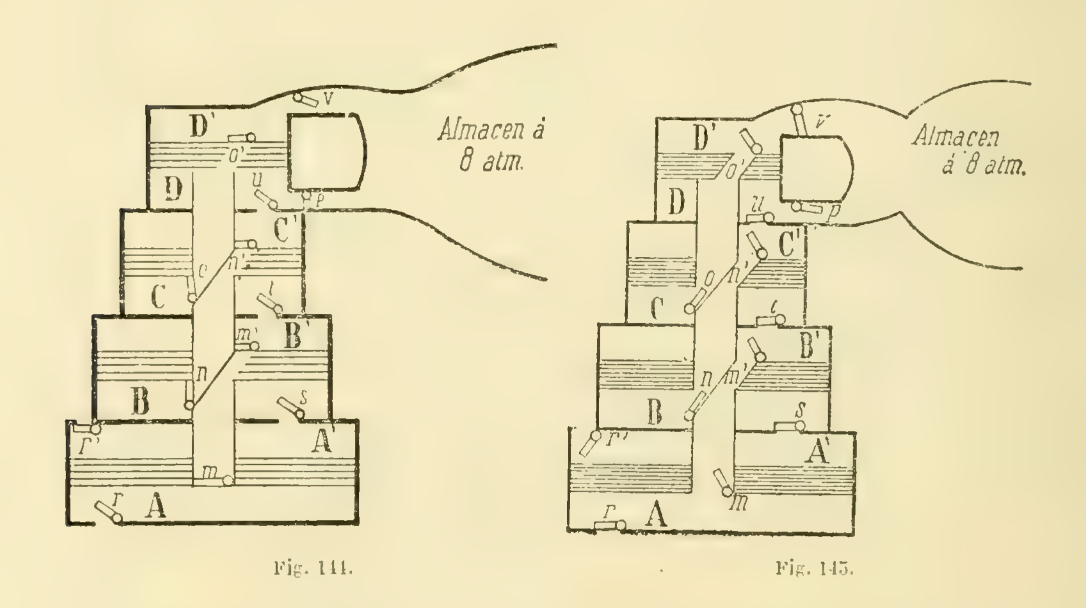



Fig. 144. Fig. 145.

(1) El lector imaginará la varilla ó varillas necesarias para mover desde fuera estos 2 émbolos conjugados por un vástago hueco. Y, respecto á las válvulas indicadas para las figuras, apenas creo necesario decir—por no ofender la ilustracion de los lectores—que

| Al subir, fig. 144. | | Al bajar, fig. 145. | |
|---|---|---|---|
| se abren las válvulas, | y el aire pasa | se abren las válvulas, | y el aire pasa |
| *r* | de la atm. á *A*: | *r'* | de la atm. á *A'*: |
| *s* | de *A'* á *B*, donde queda á 2[at]; | *m* y *m'* | de *A* á *B'*, donde queda á 2[at]; |
| *t* | de *B'* á *C*, donde queda á 4[at]; | *n* y *n'* | de *B* á *C'*, donde queda á 4[at]; |
| *u* | de *C'* á *D*, donde queda á 8[at]; | *o* y *o'* | de *C* á *D'*, donde queda á 8[at]; |
| *v* | de *D'* al almacen. | *p* | de *D* al almacen. |

Hay que hacer una observacion.

A la subida de los émbolos conjugados, sería rigorosamente diferencial el sistema representado en la anterior *figura* 144 de doble efecto: si por un lado se perdia espacio, por otro se ganaba, en parte, simultáneamente.

Pero, al bajar, durante un corto espacio de tiempo, la compresion (no el almacenaje) procederia como en el sistema monocilíndrico. Habiendo, por necesidad (*fig.* 145) un remanente de aire condensado en las secciones *m m'*, *n n'* y *o o'* del hueco vástago, es claro que las válvulas *m*, *n* y *o* no se abririan hasta que, dilatado y extendido el comprimido gas por los espacios *B'*, *C'* y *D'*, donde se hace el vacío al descender los émbolos, llegase á ser menor en ellos la tension decreciente que la creciente tension antagonista del aire, cada vez más denso en los espacios *A*, *B*, *C*. Desde ese instante, el sistema resultaria diferencial perfecto, porque el resto de los esfuerzos sería en órden ascendente, sin ningun período de constante resistencia por causa del almacenaje.

Con el objeto de que el trabajo sea el mismo en los instantes homólogos, y que no haya anticipaciones ni retardos en el juego de las válvulas, los espacios intervalvulares del vástago hueco deberán guardar entre sí, la misma proporcion que los cilindros unos con otros, etc, (1) siendo $m\,m' > n\,n' > o\,o' \ldots$

en ellas no han de mirarse los órganos perfectos que hoy usa la industria, sino meros símbolos de obturacion y apertura, representantes de las válvulas adecuadas que en cada caso usarian los ingenieros, y que de cierto se alojarian en el interior de los émbolos, donde no pudieran estorbar, etc.

(1) Para dar intuicion del asunto y sugerir mejor colocacion de válvulas, puede servir la figura del lado, núm. 146.

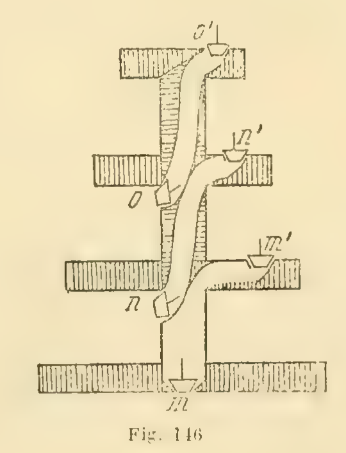


Fig. 146

Pero ¿no habrá manera de economizar más el empläzamiento?

Compresor de bastante sencillez sería el siguiente para $2^{at}$ (lo que quiere decir que son : : 2 : 1, las capacidades resultantes entre el émbolo y las paredes externas, y entre el émbolo y el canal interior que conduce al almacen).

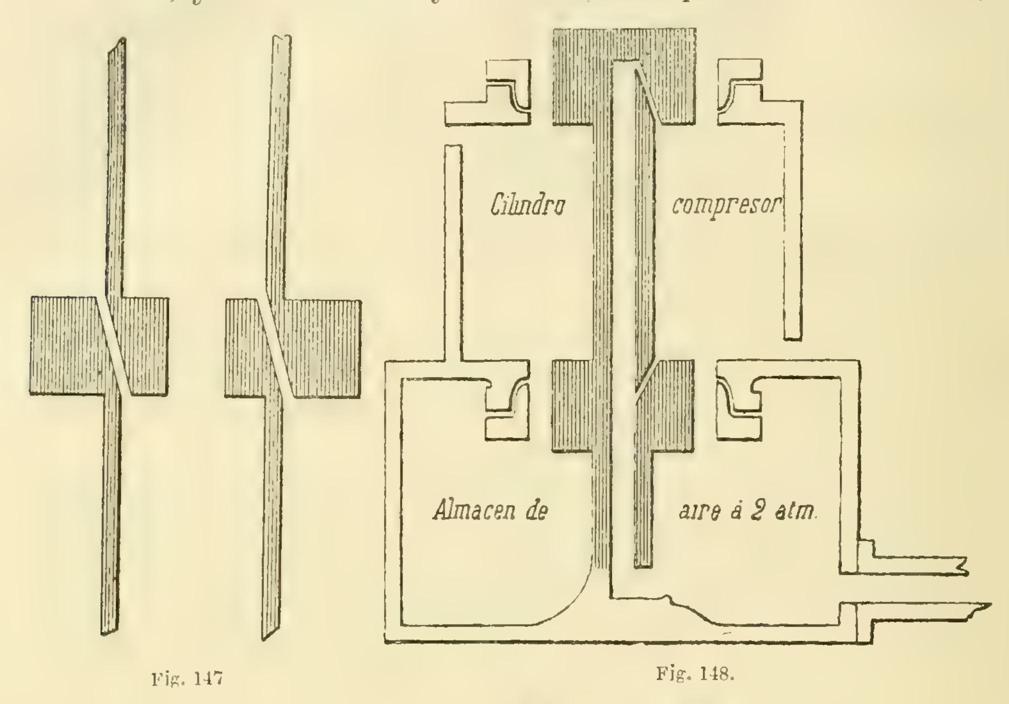
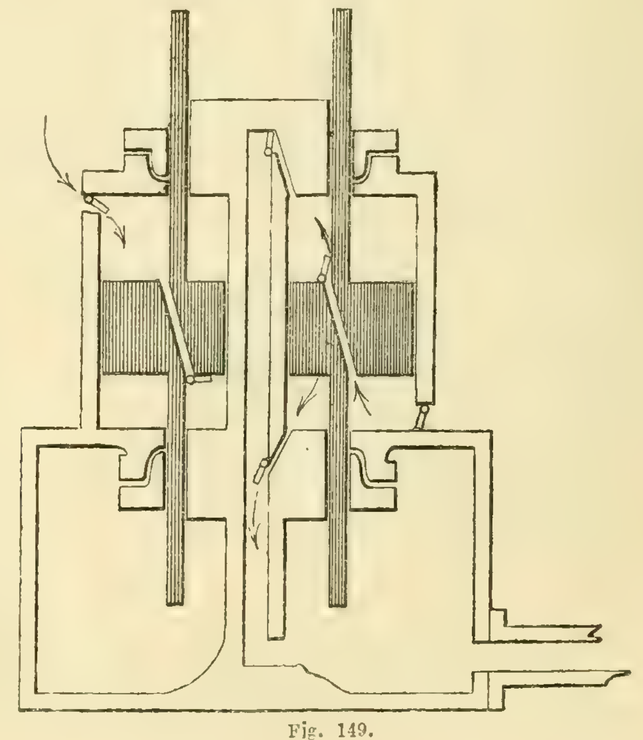
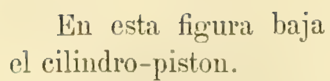



Fig. 147

Fig. 148.

Cilindro móvil que sirve de émbolo.





En esta figura baja el cilindro-piston.

La inspeccion de las flechas marca el proceso del trabajo.

Fig. 149.

Estudiemos otros medios.

La *figura* 151 puede fácilmente convertirse en la 150, cuya altura es ya la mitad.

En efecto: sea *E* un cilindro macizo, que ajuste sus generatrices *gg gg* contra el diafragma horizontal *a b, a b.*

Haya en *v* y *v'*, *o* y *o'*, válvulas que se abran hácia dentro.

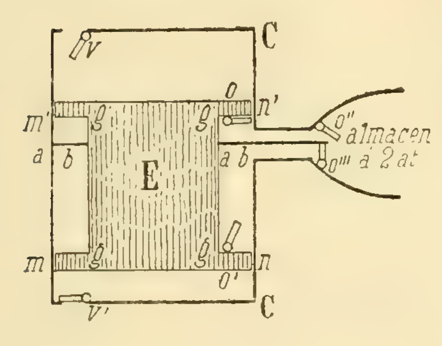



Fig. 150.

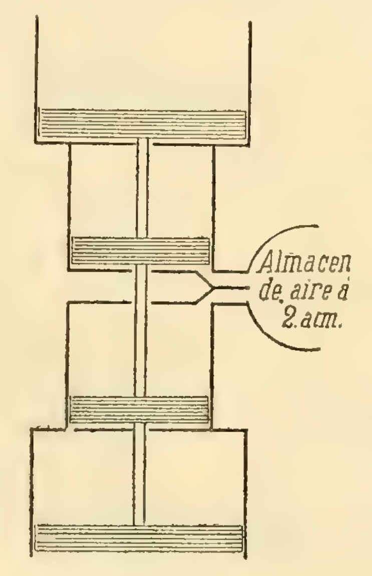



Fig. 151.

Tenga el ánulo, ó diafragma *ab, ab,* la mitad de superficie que el círculo *mn*, ó su igual *m'n'*.

El diafragma anular divida en dos partes iguales la altura *CC;* ó, lo que es lo mismo, en dos mitades el cilindro total. Llamémoslas «mitad superior» y «mitad inferior.»

Al bajar el área anular *mn*, todo el aire contenido en la mitad inferior, se condensa en la galería anular contígua *ab;* y, como este espacio es $^1/_2$ de la mitad inferior, el aire resultará en él á $2^{atm}$ cuando finalice su descenso el cilindro macizo *E*.

Mientras tanto, el área anular *m'n'* del émbolo superior ha almacenado el aire (ya comprimido en la mitad superior á $2^{atm}$). El almacenaje se ha hecho en la *figura* 150, á costa de la presion de la atmósfera ambiente, ejercida á través de la abierta válvula *v*.

Al subir el macizo *E*, se obtendrán los mismos resultados en sentido contrario, y, etc. (1)

---

(1) Este aparato se parece en su forma externa, al compresor Hurcourt, discutido á la pág. 343. Pero su teoría es muy diferente: este es rigorosamente diferencial: ya hemos visto que aquel no lo es más que mientras sube.

Cuando me ocurrió esta forma (una de las primeras que imaginé para darle aplicacion en un fusil de viento), no conocia yo, ni aun tenia noticia de el compresor inventado por el entendido ingeniero de la Compañía del gas portátil de París.

La necesidad de reducir el espacio necesario para un doble juego de cilindros conju-

La anterior *figura* 150 se convertirá en otra más elegante y adecuada á las exigencias mecánicas é industriales de las compresiones, si conseguimos que cuando la tension sea mayor, resulte de menor superficie el continente.

Sea *a b c d* un cilindro dentro del cual haya otro *mn*, concéntrico á las superficies cilíndricas exteriores, y sostenido por una columna hueca *P P*, perfectamente cilíndrica *fig.* 152.

Sitúese en ese aparato un émbolo macizo, que se ajuste tanto á *mn* como á la superficie cilíndrica exterior y á la columna: dispónganse las válvulas que indica la *fig.* 153 y el nuevo aparato tendrá mejores condiciones que el correspondiente de la seccion anterior (1).

Fig. 152.

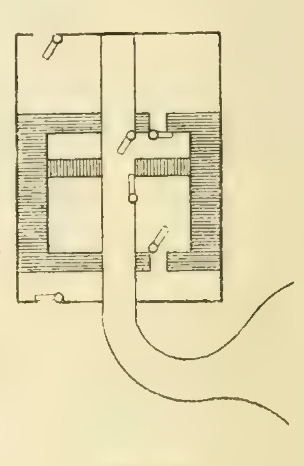


Fig. 153.

Descargado de metal inútil el nuevo émbolo, resultarian las *figuras* 154 *y* 155 que siguen.

---

gados, me condujo á esa disposicion, que naturalmente es diferencial y de doble efecto, cuando la de HURCOURT es de simple condensacion.

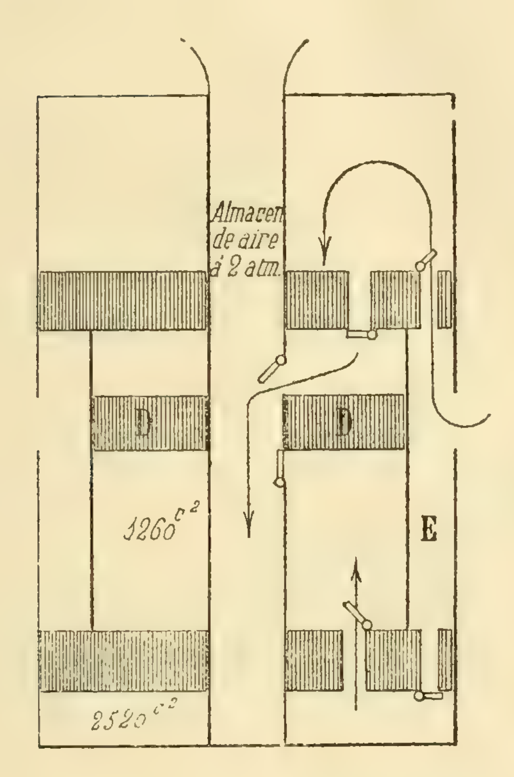
Pronto vi que para mi objeto convenia transformar ese aparato en los que siguen.

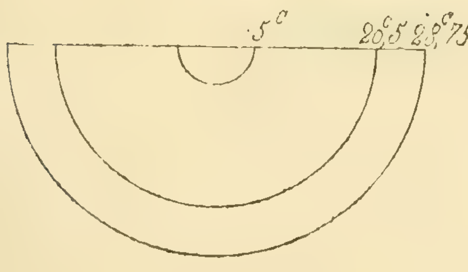
(1) El lector, como siempre, imaginará las varillas necesarias para mover desde el exterior el émbolo macizo y supondrá las válvulas más adecuadas, etc.

*Aparato condensador á 2 atmósferas.*

Los émbolos bajan.

El diafragma *D* está fijo al cilindro que va al almacen.



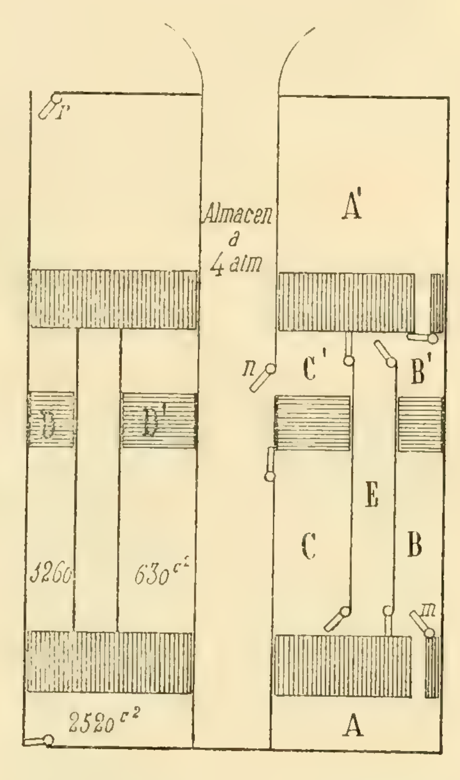

Figs. 154 y 155.

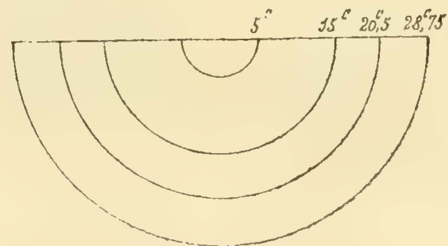
El espacio *E* queda sin empleo. Por él pudiera circular agua fria, para neutralizar el desarrollo del calor; ó bien entrar el aire atmosférico, colocando convenientemente las válvulas. Pero, puesto que se trata de economizar espacio, ¿no pudiéramos utilizar ese vacío *E*?

*Aparato condensador á 4 atmósferas.*

El aire admitido en *A* quedará en *B* á 2 atm. y en *C* á 4.

Los diafragmas *D* y *D'* están fijos, el *D* al cilindro exterior, el *D'* á la columna interior.




Figs. 156 y 157.

Al bajar, el aire en *A* pasa á *B* por la válvula *m*, y queda á $2^{at}$.

El aire en *B'* se traslada por la galería *E* á *C*, donde llega á $4^{at}$ al fin de la carrera del sistema conjugado.

El aire en *C'* va al almacen á $4^{at}$ por la válvula *n;* la presion de la atmósfera ambiente, ejercida á través de la válvula *r*, efectúa este almacenaje.

Una figura semejante á la anterior, y colocada dentro de ella convenientemente, serviria á comprimir el aire á 32 atmósferas (1).

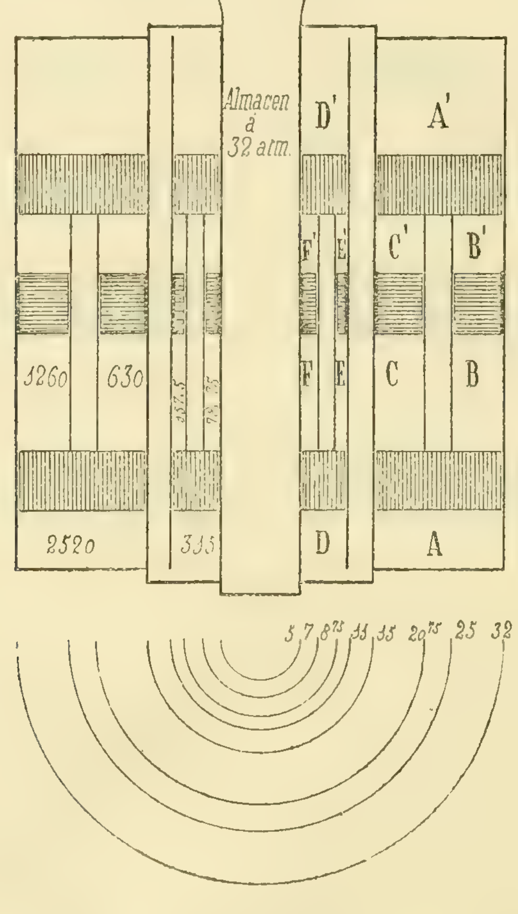
*Aparato condensador á 32 atmósferas.*

Los émbolos todos bajan simultáneamente.

Imagínense las varillas que los hagan funcionar, y los correspondientes juegos de válvulas.

Al bajar, el aire en $A$ pasa á $B$, donde, al fin, queda á $2^{at}$;
el aire en $B'$ pasa á $C$, donde, al fin, queda á $4^{at}$;
el aire en $C'$ pasa á $D'$, donde, al fin, queda á $8^{at}$;
el aire en $D$ pasa á $E$, donde, al fin, queda á $16^{at}$;
el aire en $E'$ pasa á $F$, donde, al fin, queda á $32^{at}$;
y el aire en $F'$ (que está á $32^{at}$) pasa al tubo almacen.

Los diafragmas en el centro están fijos en sus cilindros correspondientes.




Figs. 158 y 159.

(1) El lector imaginará las varillas que hagan funcionar los émbolos, y supondrá las válvulas adecuadas; y no como aparecen en las figuras, donde evidentemen-

*Aparato condensador á 16 atmósferas.*

Los émbolos todos bajan simultáneamente por medio de vástagos conjugados exteriormente en las *figuras* 160 *y* 161.

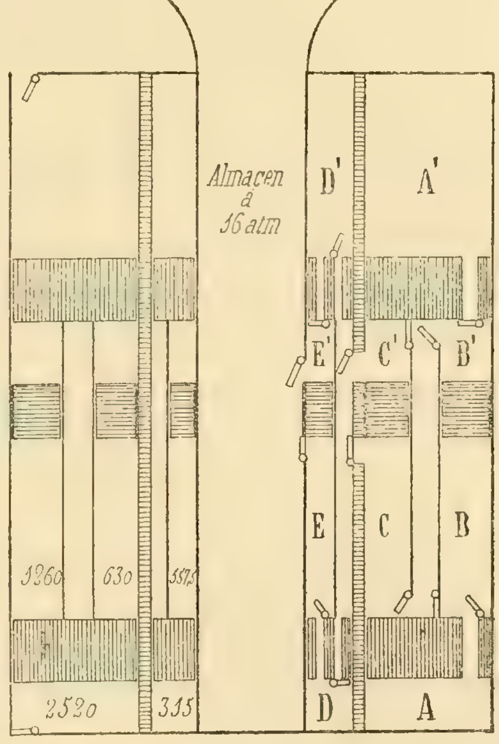
Al bajar, el aire en $A$ pasa á $B$, y, al fin, llega á $2^{at}$;
el aire en $B'$ pasa á $C$, y, al fin, llega á $4^{at}$;
el aire en $C'$ pasa á $D'$, y, al fin, llega á $8^{at}$;
el aire en $D$ pasa á $E$, y, al fin, llega á $16^{at}$;
y el aire en $E'$ pasa al tubo-almacen con la densidad de $16^{at}$.

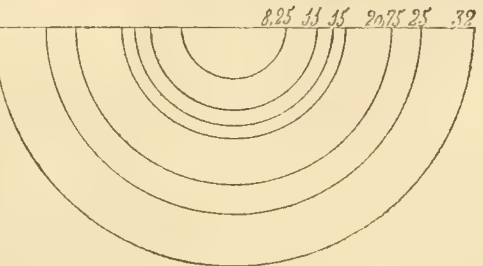
Los diafragmas centrales, están fijos.

Este aparato es el de la *fig.* 154 dentro del de la *fig.* 156.

En los aparatos anteriores no se han dibujado los vástagos que desde fuera hayan de poner en movimiento los émbolos conjugados; pero ¡es tan fácil imaginarlos! ¡Es tan fácil tambien imaginar las válvulas propias para cada caso!

Se ve, pues, cómo las enormes torres que figurarian los dos juegos de cilindros colocados verticalmente, quedan reducidas á las dimensiones de cualquier máquina vertical de las pequeñas de vapor.




Figs. 160 y 161.

IV.

Siendo tan grande la economía de esfuerzo final que puede obtenerse por medio de los émbolos intercalares, puesto que igualan mejor los esfuerzos iniciales con los finales, ¿no podríamos acudir á ellos al mismo tiempo que tratásemos de economizar espacio?

---

te estorbarian el funcionamiento de los émbolos.

Los conductos de comunicacion deben reducirse á un mínimum; pues, por pequeña que sea su capacidad, siempre será suficiente para alterar la teoría de los compresores y del sistema puro diferencial; si bien la modificacion del sistema diferencial es insensible cuando los espacios de comunicacion son un

*Condensador á $2^{at}$ con dos intercalares*

:: 6 : 5 : 4 : 3.

Los émbolos bajan; las flechas indican la marcha del aire progresivamente condensado; se supone cuál debe ser el juego de las válvulas.

Como siempre, fijos los diafragmas centrales.

1.° El aire atmosférico entra en $A'$.

2.° Se va comprimiendo en $A$, hasta albergarse todo en $B$, á la presion final de $\frac{6}{5}$ de atm., exigiendo un esfuerzo de

$$420^{cor} \times \frac{6^{at}}{5} = 504^{k}.$$

3.° El aire contenido en $B'$ pasa á $C'$ con una presion final de $\frac{6}{4}$

$$420 \times \frac{6^{at}}{4} = 630^{k}.$$

4.° El aire de $C$ pasa á $D$: presion final $\frac{6}{3} = 2^{at}$

$$420 \times 2^{at} = 840^{k}.$$

5.° El almacenaje del aire en $D'$ se hace á costa de la presion atmosférica en $A'$: prescindamos, pues, de él.

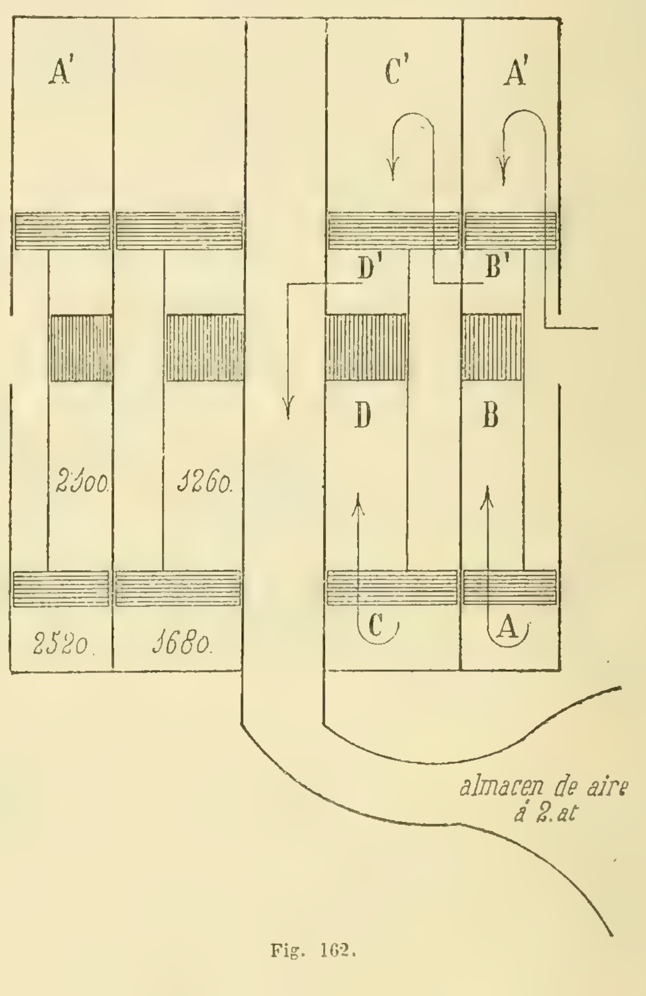



Fig. 162.

Sumando las presiones finales, tendremos:

$$\begin{array}{r} 504 \\ 630 \\ 840 \\ \hline 1974^{k} \end{array}$$

en vez de $2520^{k}$ que se habrian necesitado, á faltar los intercalares.

---

mínimum: en tal caso la teoría diferencial es casi exacta.

Mas adelante trataremos de estos espacios perjudiciales con mas detencion.

Cuatro aparatos, semejantes al anterior, colocados unos dentro de otros, con las dimensiones convenientes *en funcion del más pequeño*, nos darian el aire á $32^{at}$: entre cada dos émbolos primarios habria dos intercalares, segun série de números naturales, y el total de émbolos conjugados sería el de 16, como sigue, en números redondos, conforme á las dimensiones que venimos estudiando):

$2560^{mod}$ : 2132 : 1706 : 1280 : 1066 : 853 : 640 : 533 : 426 : 320 : 266 : 214 : 160 : 133 : 106 : 80

Véanse los siguientes proyectos de 1 intercalar como 1890 entre dos primarios como 2520 : 1260 (*figs*. 163 *á* 165).

Fácil es suponer el juego de las válvulas, varillas, etc.

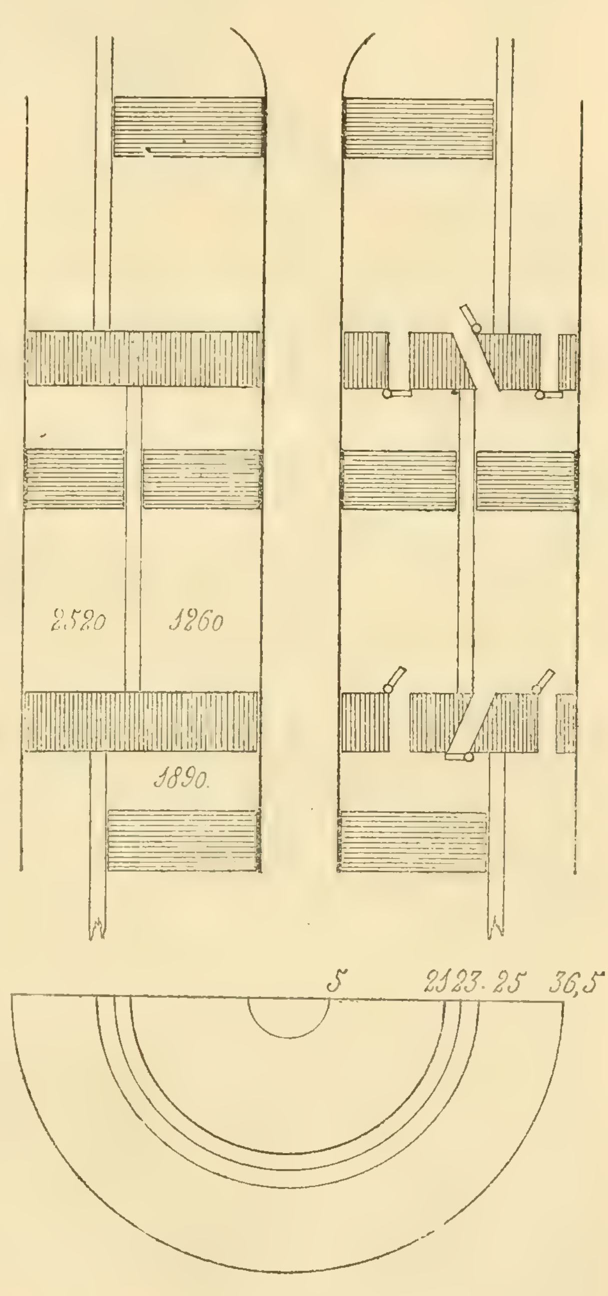
V.

La dificultad que se ofrece para ahorrar espacio cuando se trate de emplear 1 intercalar entre 2 émbolos primarios, consiste en que la superficie del intercalar y la del menor primario suman siempre más que la del primario mayor.

Sean émbolos : : 4 : 3 : 2.

Dentro del cilindro cuya base sea igual á cuatro, no caben juntos otros dos cilindros cuyas bases sumen 3 + 2 = 5.

Así, no es posible que estos cilindros jueguen unos dentro de otros telescópicamente, ó á estilo de anteojo de larga vista, sino cuando los émbolos están en razon geométrica, expresada por un número entero. Si, pues, tenemos 3 émbolos primarios : : 4 : 2 : 1; ó bien 4 émbolos primarios : : 8 : 4 : 2 : 1....., claro es que siempre, dentro del cilindro máximo, podrán jugar todos los demás; dentro del siguiente los menores; etc.




Figs. 163 y 164.

Los intercalares, segun una razon radical, tampoco se prestan á este ahorro de espacios. Sean, como ejemplo, estos émbolos:

$$2 : \sqrt{2} : 1, \text{donde} (\sqrt{2} + 1) > 2.$$

## VI.

Y hénos aquí conducidos, como por la mano, á otro sistema de compresion, que denomino «por escalones,» ó sea al sistema de condensaciones sucesivas segun el sistema diferencial (método ya indicado y aplazado para este sitio).

Una série cualquiera de émbolos conjugados se puede fraccionar.

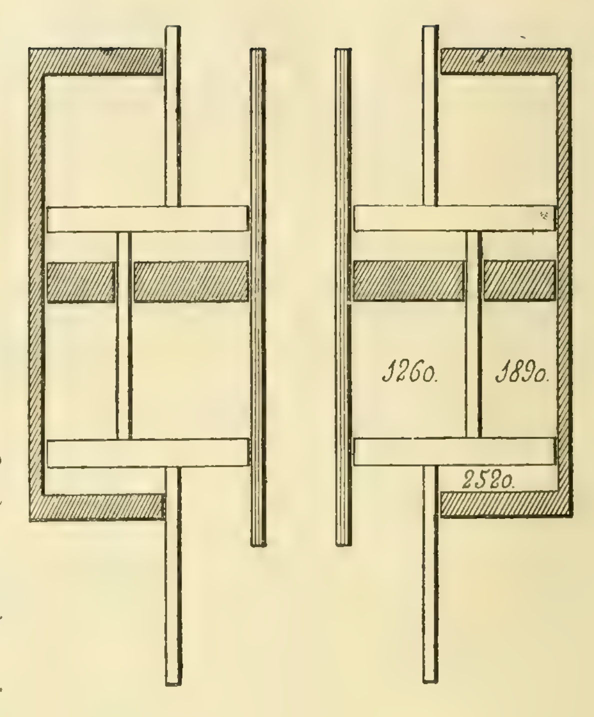



Fig. 165.

Muchas veces acontecerá que, por no contarse con motores poderosos, convenga dividir el trabajo; y cada fraccion compresora tenga su motor especial por separado de los demás motores; y, así, un primer motor, empezaria comprimiendo un poco el aire, otro segundo motor lo bicondensaria....., y otro, ú otros, lo percondensarian hasta la elevada presion que se quisiera; ¡preciosa propiedad que proporcionaria el aire, variamente comprimido, conforme á las exigencias de la explotacion!

Y es lo bueno, que estas razones de conveniencia especial en nada amenguan las ventajas de la ley logarítmica, antes bien demuestran su carácter de práctica eficacia.

Solo hay que llenar una condicion. En la compresion por escalones, el segundo aparato, ó sistema de aparatos, se alimenta del aire condensado préviamente por el primero; el tercero se alimenta del aire bicondensado por el segundo.....; y así sucesivamente.

Y, si todos los condensadores, bicondensadores..... y percondensadores deben simultáneamente trabajar, entonces la alimentacion tiene que ser contínua y suficiente.

Mas (como puede suponerse desde luego) esta percondensacion por escalones (que podrá ofrecer muchas ventajas relativamente á la ley de Gay-Lussac, facilidad de inspeccionar los aparatos....., etc.), lejos de tener tendencia á ahorrar espacio, tiende á exigir un gran emplazamiento.

El problema, en efecto, es de suma facilidad, cuando no se quiera ahorrar espacio, ó trabajar simultáneamente las recondensaciones escalonadas.

Supóngase que apetecemos aire á 32 atmósferas, y que vamos á usar 2 intercalares entre cada 2 émbolos primarios.

Cinco sistemas, análogos al primero de la Seccion IV de este capítulo, realizarian el desideratum, con tal de que el segundo se alimentase del aire, préviamente condensado á 2 atmósferas por el primer sistema; el tercero se alimentase del aire recondensado á $4^{atm}$ por el segundo.....; y así sucesivamente.

Sírvannos de estudio las siguientes dimensiones como ejemplo de la ley logarítmica de secciones (capítulo anterior).

| 1.$^{er}$ aparato con 2 intercalares.. | 2.° aparato con 2 intercalares. | 3.$^{er}$ aparato con 2 intercalares. | 4.° aparato con 2 intercalares. | 5.° aparato con 2 intercalares. |
|---|---|---|---|---|
| $1920^{mod}$<br>1600<br>1280<br>960 | $960^{mod}$<br>800<br>640<br>480 | $480^{mod}$<br>400<br>320<br>240 | $240^{mod}$<br>200<br>160<br>120 | $120^{mod}$<br>100<br>80<br>60 |
| Da aire á $2^{at}$. | Da aire á $4^{at}$. | Da aire á $8^{at}$. | Da aire á $16^{at}$. | Da aire á $32^{at}$. |
| Esfuerzo final, $1504^{k}$ | Esfuerzo final, $1504^{k}$ | Esfuerzo final, $1504^{k}$ | Esfuerzo final, $1504^{k}$ | Esfuerzo final, $1504^{k}$ |

Como se ve, el émbolo mayor de cada aparato, empezando desde el 2.°, ha de tener igual superficie que el más chico del escalon ó seccion precedente; y, si el esfuerzo que en un instante cualquiera requiere una seccion, ha de ser igual al esfuerzo que en el mismo momento requiera otra seccion, entonces las superficies de los émbolos han de estar, en cada renglon, en progresion geométrica.

Evidente es que, de un modo análogo, habria que proceder, si, en vez de números naturales, hubiera que funcionar con intercalares, segun una razon radical.

¿Deberé mencionar que pudiera convenir, dada una gran série de émbolos primarios, interponer intercalares, entre cada dos, en número desigual? Por ejemplo: un intercalar entre el mayor primario y el segundo; tres intercalares entre el segundo y el tercero; ninguno entre el tercero y el cuarto?..... etc., etc.

Conviene ejemplificar que la compresion por escalones del sistema diferencial está sujeta á las condiciones de alimentacion que se han indicado. Véanse las figuras siguientes.

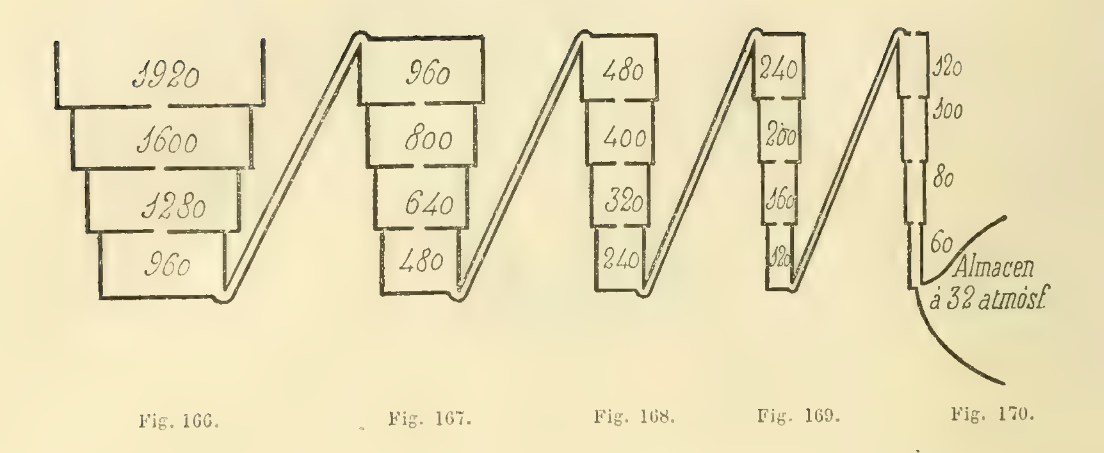



Fig. 166. Fig. 167. Fig. 168. Fig. 169. Fig. 170.

La inspeccion de las *figuras* anteriores lo pone de manifiesto.

El auxilio atmosférico de la 1.ª seccion es reemplazado en las otras por el aire que las alimenta:

| | |
|---|---|
| Auxilio atmosférico sobre el mayor émbolo. | $1920^{mod} \times 1^{at} = 1920^{k}$ |
| Su equivalente en la 2.ª seccion .......... | $960^{mod} \times 2^{at} = 1920^{k}$ |
| Su equivalente en la 3.ª id.............. | $480^{mod} \times 4^{at} = 1920^{k}$ |
| etc. | |

Todas las resistencias son iguales en cada seccion. Luego un mismo motor puede hacerlas funcionar sucesivamente. Luego tantos motores iguales como secciones haya, pueden hacerlas funcionar simultáneamente. Luego un solo motor de la fuerza de todos, hará funcionar á todas á la vez, etc.

Esta compresion por escalones se presta á toda clase de combinaciones de posicion.

Y puede funcionar á grandísima distancia, etc.

Tampoco tiene condiciones de tiempo. Pero, si las percondensaciones se hacen sucesivamente, dejando pasar grandes intervalos de una condensacion á la siguiente más alta, se necesitan depósitos de consideracion.

No es necesario que los motores sean de idéntica potencia. Basta con que sean proporcionales al trabajo que deban efectuar, etc.

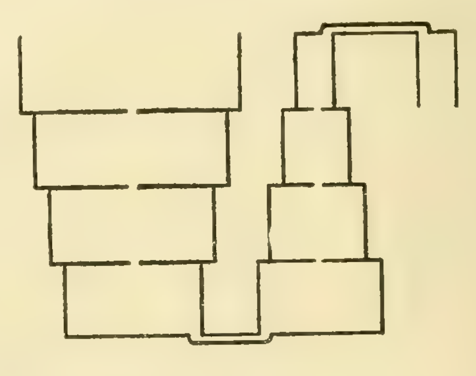


Fig. 171.

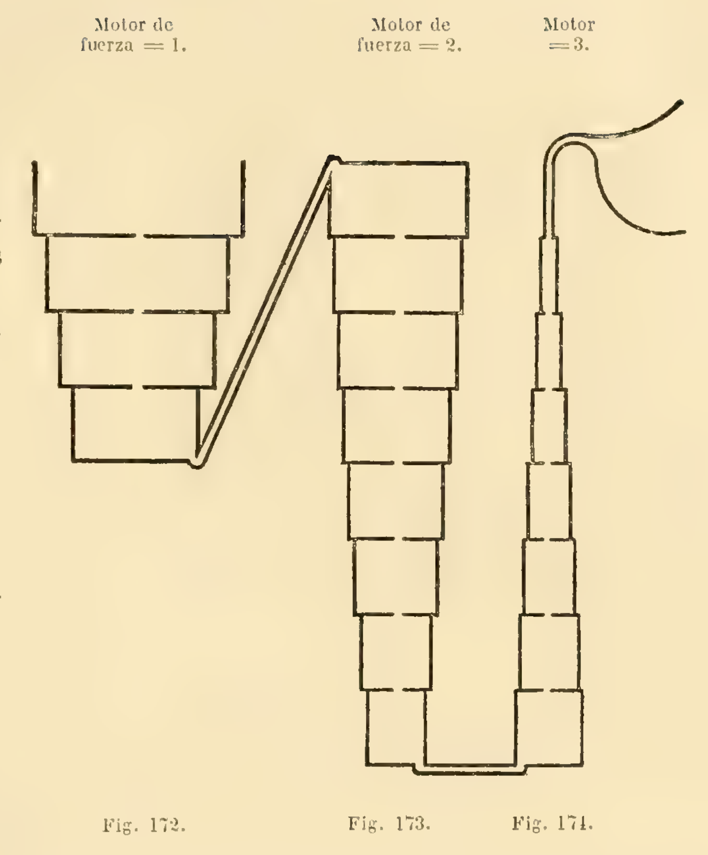



Fig. 172. Fig. 173. Fig. 174.

La percondensacion por escalones sin sujecion á sistema, se ha verificado con bastante frecuencia. Regularmente el escalonamiento no ha pasado de dos secciones.

Dos objetos se proponian quienes la usaban:

Primeramente dinámico;

En segundo lugar, térmico.

1.° Como la superficie del segundo piston podia reducirse á dimensiones mucho menores que las del primero, resultaba un gran ahorro de potencia en la compresion final. Esta ha sido, á mi juicio, la principal preocupacion de Hurcourt y de Rouquayrol, al crear sus ingeniosos aparatos, y las de los constructores de Delamater Works, en Nueva-York. Rouquayrol, especialmente, tenia que pensar en ello, pues con 4 cuerpos de bomba escalonados, segun tengo entendido, ha proyectado condensaciones á $100^{\text{atm}}$, valiéndose al efecto solo de las fuerzas musculares de los sirvientes de las bombas.

2.° El fin térmico era la reduccion del calor que desarrolla la compresion en un solo cilindro.

A esto aspiraba Regnault cuando en sus experimentos tenia que pasar de $30^{\text{atm}}$. Con un primer cilindro condensaba el aire de la atmósfera, y lo almacenaba á una considerable tension en un primer recipiente, de donde luego lo tomaba—á la presion en que allí estaba almacenado—un segundo cilindro, de diámetro menor, el cual lo percondensaba á la presion apetecida, y lo encerraba á tan gran tension en un segundo recipiente. De este modo, el calor desarrollado en cada cilindro, no era bastante á alterar el cuero de los pistones, ni desorganizar los lubricantes, etc.

Y hoy cuantos ingenieros modernos patrocinan el escalonamiento de la condensacion del aire, no se cuidan apenas de la cuestion dinámica (la fuerza

del vapor abunda); pero están constantemente preocupados por la cuestion térmica (1).

Hoy se profesa ya generalmente que puede reducirse en gran cantidad el calor termométrico producido al comprimir un gas, condensándolo en 2 cilindros escalonados, divididos por un depósito en que el aire vuelva á la temperatura ambiente, ya á través de agua fria, que lo enfrie y que lo seque, ya de un modo natural por efecto ineludible de la irradiacion. Así, el segundo compresor se encuentra, relativamente al desprendimiento de calor que produce la recondensacion, en las mismas condiciones en que funcionó el primero; y la temperatura final puede quedar reducida, ahorrándose un cierto tanto por ciento del trabajo que el exceso de temperatura consume inútilmente (2).

No me parece que los apologistas de la compresion en 2 aparatos escalonados, dejarán de patrocinarla, si los escalones excediesen de un par; se entiende siempre que la multiplicidad de las operaciones no entrañe onerosísimo aumento de las resistencias pasivas.

Al contrario, cuantas razones militen en favor del fraccionamiento de la compresion en 2 períodos, otras tantas podrán, cuando ménos, aducirse en ven-

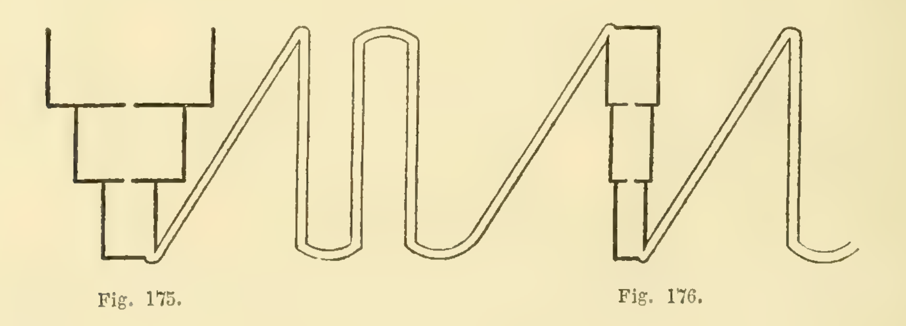


Fig. 175. Fig. 176.

(1) Acaso ningun ingeniero patrocina tanto como el eminente PERNOLET la compresion escalonada. Son notables las siguientes palabras del general HAUPT, ingeniero del Hoosac.

«Si el aire atmosférico en pasar de la densidad de $1^{at}$ á la de 2 desarrolla 116° F., el mismo calor desarrollará al pasar en idénticas condiciones de tiempo y de espacio desde 2 á 4, desde 4 á 8, desde 8 á 16; por manera que, si en el tránsito de $1^{at}$ á 2 hay que anular 116° de calor para tener $1^{at}$ efectiva, en el tránsito de 16 á 32, ó sea en la duplicacion de una presion ya considerable, solo se requerirán tambien 116° de calor. En el primer caso una atmósfera cuesta 116°, y en el segundo, 16 veces ménos, ó sea 7°,25. Esto solo probaria la conveniencia de las altísimas presiones, por ejemplo, de $32^{at}$ en adelante. La dificultad será siempre una cuestion técnica sobre resistencia de materiales. Y ¿no se ha de vencer este obstáculo, verdaderamente de segundo órden?»

Los receptores de aire nunca se deterioran estando barnizados y siendo seco el aire; y si la presion aumenta, el sunchado de los tubos asegurará siempre la resistencia necesaria. Explosiones nunca pueden temerse. En Francia, de intento, se dejó caer un enorme peso sobre un recipiente lleno de aire comprimido fuertemente. El aire se escapó silbando y rugiendo por la abertura, pero ningun fragmento de metal resultó proyectado á lo lejos.

(2) Véase PERNOLET, págs. 45, 46, 59, 334, 338 y 339.

taja de un mayor número de períodos; y, *à fortiori*, de la compresion escalonada con arreglo al sistema diferencial. La condicion de que llegue frio el aire, comprimido ya, al escalon sucesivo, se verificará de necesidad, por escasa que sea la longitud de los tubos de alimentacion, los cuales, por supuesto, pueden sin inconveniente disponerse de exagerada longitud relativa (*fig. anterior*).

Y el resultado será notablemente mejor para el ulterior uso del aire en los aero-motores, si se seca pasándolo por tanques de agua fria, como hacen los ingenieros de Delamater Works, en Nueva-York.

## VII.

Pero ¿sucederá lo mismo en el sistema diferencial no escalonado? ¿Pueden existir esas tuberías entre cilindros que se tocan?

Y hénos aquí conducidos (tambien naturalísimamente) á tratar una de las más grandes dificultades, que creo vencidas por el empleo de los émbolos conjugados: el calor exteriorizable en la condensacion de un gas.

Muchas veces he dicho que los compresores conjugados han de suponerse provistos de todos los órganos de frigorizacion más eficaces conocidos hasta el dia, incluyendo la pulverizacion de agua, á fin de que la ley de GAY-LUSSAC no influya, al ménos notablemente, en la ley de MARIOTTE. Ahora, repito de nuevo que, aunque no dibujados en los aparatos anteriores los órganos refrigerantes, siempre los doy por representados; y que, en gracia solo de la sencillez, he dejado de simbolizarlos figura por figura.

Pero tengo para mí que la eficiencia de esos organismos y medios de frigorizacion violenta, ha de ser muchísimo mayor en los cilindros diferenciales que en cualquiera otro género de compresores.

## VIII.

En la exteriorizacion del calor termométrico durante la compresion de un gas, representa el tiempo un papel principalísimo: esencial, á mi entender.

El gran principio de la dinámica, «lo que se pierde en tiempo se gana en fuerza,» es enteramente correlativo de este otro al tratarse de la condensacion de un gas: «Lo que se pierde en tiempo se atesora en calor dinámico.»

Quizá esto necesite algun comentario.

Sabido es que el calor se transforma en trabajo, y el trabajo en calor; y que una misma cantidad del uno no puede producir más que una correlativa cantidad del otro, y vice-versa.—$425^k$, cayendo de la altura de 1 metro, producen una caloría; y una caloría levanta á la altura de 1 metro, 425 kilógramos: ni más ni ménos.

Así, pues, el trabajo primitivo que empleemos en comprimir aire, no puede transformarse más que en una cantidad necesariamente determinada de calor;

pero este calor puede ser de resorte, ó almacenable dinámicamente en la masa misma del aire, ó bien termométrico, ó sea sensiblemente superior al de la temperatura ambiente; mejor dicho, la compresion de un gas desarrolla ambas clases de calor, cuya integracion iguala correlativamente al trabajo invertido. El calor exteriorizado es el superior á la temperatura ambiente: este exceso de temperatura dilata la masa de aire; aumenta su tension; es una componente del trabajo invertido en el momento de estarse verificando la compresion; pero, instantes despues, ese exceso de temperatura se ha disipado, transportándose á los cuerpos circunstantes y llevándose consigo la parte de trabajo en él invertida, esto es, dejando sin ella á la masa del aire, cuya tension por necesidad desciende, ó, lo que es lo mismo, cuya fuerza queda disminuida en toda aquella cantidad de trabajo representada por la irradiacion.

Trabajar, pues, en producir calor termométrico primeramente, y trabajar luego en inyectar polvo de agua para absorberlo, es gastar fuerza motriz dos veces en pura pérdida.

Pues esta doble pérdida puede economizarse no coadyuvando á la exteriorizacion del calor, y encomendando en gran parte la frigorizacion á la influencia de medios naturales que no exijan dispendio de trabajo industrial.

## IX.

Es de diaria experiencia que el calor sensible necesita cierta duracion para salir de un cuerpo, disipándose por irradiacion; y, si no se le deja tiempo para esa disipacion, claro es que habrá de ser más enérgica la frigorizacion que reduzca su temperatura.

Permítaseme un ejemplo.

Queremos comprimir aire á $8^{atm}$ en un cilindro de 64 de altura, recorridos en 4 segundos con velocidad uniforme.

Claro es que el piston invertirá 2 segundos en bajar desde cero á la division 32.

Hagamos ahora una hipótesis.

Supongamos que ese tiempo de 2 segundos es justamente bastante para que el calor termométrico se vaya disipando por irradiacion, á medida de su desarrollo, sin necesidad de frigorizacion artificial; y, entonces, anulada la influencia de la ley de Gay-Lussac, nos resultará que la ley del trabajo invertido en bajar desde cero á 32, es precisa y exactamente la ley de Mariotte. No bien se iba á exteriorizar calor, medios naturales lo absorbian. No hubo aumento de tension parásita y fugaz: solo existió el aumento de tension correspondiente á la reduccion de volúmen: el trabajo, pues, invertido en comprimir, se

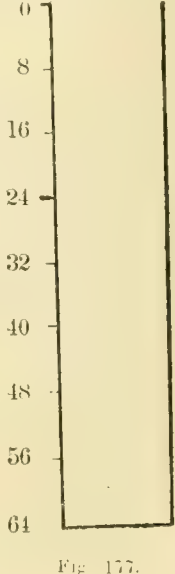


Fig. 177.

encuentra todo, como un depósito sagrado, en la tension permanente de la masa gaseosa.

Pero el piston sigue bajando; y, como desciende con velocidad uniforme, necesitará sólo 1 segundo para caminar desde el 32 al 48. El aire estaba á $2^{atm}$ cuando el piston enfiló el número 32; y se hallará ahora á $4^{atm}$, cuando el piston éntre en la division 48.

Ahora bien: el tránsito de una densidad á su doble es, como sabemos, una cantidad constante: por manera que el trabajo necesario para hacer bajar el piston desde el cero al 32, es enteramente igual al invertido en hacerlo descender desde el 32 al 48; y, por necesaria consecuencia, el calor en que el trabajo se transforma, es igual en el descenso desde el cero al 32, que en el descenso desde el 32 al 48.

Pero el tiempo no es el mismo en un caso que en otro: en el primer caso ha durado la marcha 2 segundos, tiempo suficiente, por hipótesis, para la disipacion del calor termométrico; en el segundo caso dura 1 segundo solamente, tiempo no bastante, segun la misma hipótesis, para la disipacion del calor exteriorizado. Luego se habrá rezagado en las moléculas del gas un remanente considerable de calor sensible; y, aumentada su tension por este remanente parásito y que luego se ha de disipar por inevitable irradiacion, tendremos necesidad de un trabajo mayor para descender desde el 32 al 48, que para bajar desde el cero al 32; siendo así que, á igualdad de temperatura, el tránsito de una densidad á su doble es una cantidad constante. Y ¿habria sucedido esto si hubiéramos hecho, en 2 segundos tambien, la condensacion desde 2 á 4 atmósferas, como en 2 segundos la hicimos desde 1 á 2 atmósferas?

Pero sigamos.

En $^1/_2$ segundo debe atravesar el piston la distancia del 48 al 56: el trabajo debiera ser el mismo, y la transformacion en calor, idéntica á la que hubo cuando el viaje desde cero á 32; pero el tiempo en que se realiza la condensacion desde $4^{atm}$ á 8, es la cuarta parte del tiempo en que se efectuó la condensacion desde 1 á 2; y además (nótese esto bien), la condensacion desde 1 á 2 atmósferas se inició estando el aire á la temperatura ambiente, y la de 4 á $8^{atm}$ se ha iniciado estando ya el aire á una temperatura muy superior á la atmosférica. ¿Cómo extrañar, pues, la enorme acumulacion de calor en la temperatura final? ¿Cómo el incremento de tension que ella produce, y que pronto se ha de disipar? ¿Cómo el aumento de trabajo, que es su consecuencia fatal é ineludible?

Y ¿habria habido que lamentar todos estos graves inconvenientes, si se hubiesen hecho siempre trabajos iguales en tiempos iguales, y recorriendo caminos iguales?

Y hé aquí cómo, por muy distinta senda, hemos venido á parar al punto de partida. Una buena máquina de comprimir por medio de cilindros debe, en primer lugar, separar del trabajo del almacenaje el trabajo puramente com-

presor; y subdividir éste de tal modo, que cada fraccion requiera el mismo peso, el mismo tiempo y el mismo espacio.

La exteriorizacion de calor será entonces la misma para cada subdivision del trabajo compresor total; y no habrá calor remanente que desde un grado inferior de condensacion se acumule al calor correspondiente al grado superior, siempre que los medios frigoríficos más enérgicos se pongan en práctica, ó el proceso de la percondensacion se verifique con suma lentitud; porque, entonces, á causa de la disciplina y organizacion misma de la compresion, y por la eficacia de causas físicas, permanentes y gratuitas, se obtendrá mucho mejor lo que, por el método monocilíndrico, no puede conseguirse sino ménos bien y por medios onerosos.

## X.

Así, pues, el calor que se exterioriza viene á ser funcion de la velocidad. No sé cuál es la ley; pero me imagino que ha de haber alguna proporcion entre la velocidad y el calor termométrico.

Por tanto, trabajar muy lentamente es dejar lugar al proceso natural de la irradiacion; es invalidar, sin necesidad de artificios refrigerantes, la influencia desastrosa de la ley de Gay-Lussac; es ganar en fuerza todo el trabajo equivalente al calor que luego se disipa transportándose por irradiacion á otros cuerpos; es encontrarse permanentemente en forma de resorte el trabajo invertido en comprimir.

Así, pues, «lo que se pierde en tiempo se gana en calor dinámico.»

Y aquí vuelve á aparecer lo inadecuado del sistema monocilíndrico para la compresion de los gases, é indirectamente evidenciado lo ventajoso de cualquiera clase de compresion por escalones, cuya esencia es la lentitud; y, por tanto, presentará ventajas sobre un sistema cualquiera, el escalonado diferencial.

Y ahora es ya tiempo de hacer ver que la compresion por medio de nuestros émbolos conjugados diferencialmente, es verdaderamente una compresion por escalones, no sucesiva sino simultánea, pero en la cual están suprimidas las largas tuberías de comunicacion, simbolizadas al fin de la Seccion VI de este capítulo.

El sistema monocilíndrico (por la velocidad geométricamente acelerada con que dobla la densidad á medida que es más elevada la tension) coadyuva á la formacion del calor termométrico; y se crea, él mismo, enormes resistencias, por no dejar tiempo á que el aire se enfrie en cada período de duplicacion de densidad: el calor rezagado de un período hace que crezca sobremanera el calor del período siguiente; y la elevada temperatura de ambos (no disipada por falta de tiempo), eleva en proporciones colosales la del período inmediato.....; y así sucesivamente en desastrosa progresion.

# XI.

Y ¿qué nos dice la experiencia respecto á este particular?

No tengo conocimiento de que existan en parte alguna compresores rigorosamente diferenciales; y, por tanto, no puedo aducir datos del todo pertinentes; pero me es dado invocar en apoyo de la anterior doctrina, la marcha regular, económica, y sin calorizacion sensible, de los aparatos Hurcourt y Rouquayrol, diferenciales durante la mitad del tiempo en que funcionan.

Pero hay más: creo poder justificadamente interpretar en favor de las consideraciones precedentes las evaluaciones del efecto útil, hechas sobre los datos experimentales suministrados por algunos compresores monocilíndricos.

Si la produccion de calor sensible crece con la velocidad de la condensacion (en el sentido anteriormente expuesto), debe corresponder el mayor efecto útil al tránsito desde 1 á 2 atmósferas; porque sea la que fuere la altura del cilindro, se invertirá siempre más tiempo en pasar de 1 á 2 atmósferas que en pasar de 2 á 4, ó de 4 á 8..... Y, con efecto, encuentro en Pernolet los siguientes resultados, obtenidos en las experiencias hechas en Gegen-Ort con excelentes compresores Sievers de piston hidráulico, tipo Sommeiller.

| Velocidad por segundo del piston hidráulico. | Efecto útil á la presion de 1 atmósferas efectivas sobre la normal. | 2 | 3 | |
|---|---|---|---|---|
| 0$^{m}$,230 | 0,94 | 0,88 | 0,85.. | Ningun calor en la caja de las válvulas. |
| 0 ,330 | 0,95 | 0,885 | 0,885.. | Id. id. |
| 0 ,462 | 0.93 | 0.88 | 0.85... | Id. id. |
| 0 ,544 | 0,95 | 0,90 | 0,865.. | Id. id. |
| 0 ,694 | 0,94 | 0,87 | 0,83... | Algun calor en dicha caja. |
| 0 ,754 | 0,93 | 0,85 | 0,80... | Elevacion muy sensible de temperatura en dicha caja. |

Este cuadro demuestra que el efecto útil decrece rápidamente á medida que crece la presion. El máximum, que es de 95 °/₀ para el tránsito desde 1 atmósfera á 2, no es más que de 90 °/₀ para el tránsito de 1 atmósfera á 3, y es solo de 86 °/₀ para el tránsito de 1 á 4.

Por otra parte, si la velocidad coadyuva á la exteriorizacion de calor, corresponderá, para una misma y determinada tension, el mayor efecto útil al caso en que la condensacion se hubiere verificado con lentitud mayor. Tambien esta presuncion teórica se encuentra plenamente realizada por las experiencias de Gegen-Ort. En el anterior estado se ve que en la caja de las válvulas solo se hace sensible el calor cuando aumenta la velocidad; y, por tanto, para una

misma densidad final, decrece constantemente el efecto útil. El efecto útil, que es respectivamente de 95 %, 88 ½ % y 88 ½ % para una velocidad en el piston de $0^{m},330$, queda reducido para la velocidad de $0^{m},754$, á la de 93, 85 y 80, correspondientemente.

### *Compresores* COLLADON.

En Airolo se han hecho experimentos, cuyo resultado es el siguiente:

| | |
|---|---|
| De 6 á 7 atmósferas, efecto útil, | 78 % |
| De 7 á 8 | 74 % |
| De 8 á 9 | 66 % |
| De 9 á 10 | 59 % |

En Albert Schacht, los experimentos han dado las conclusiones que siguen:

| | |
|---|---|
| 1 á $2^{atm}$................ | 91% |
| Hasta $3^{atm}$.............. | 87¼ % |
| Hasta $4^{atm}$.............. | 84½ % |
| Hasta $5^{atm}$.............. | 83% |

Otros ejemplos pudiera aducir, pero no tan concluyentes, pues, para justificar su aplicacion rigorosa, serían necesarios datos y discusiones que me faltan (1).

Ya veremos en lugar oportuno cuán complejo es el conocimiento de la velocidad, si, como frecuentemente ocurre, el árbol motor primario mueve el piston comprimente por el intermedio de una manivela y una biela.

Pero la importancia del elemento temporal se revela á cada instante en los autores; y todos convienen en que el efecto útil de un compresor es correlativo de una cierta velocidad.

## XII.

La conformidad de todos los físicos é ingenieros en considerar la compresion por escalones, como un eficaz medio para ahorrar fuerza final y exorbitante desarrollo de calor;

Los resultados prácticos que hasta ahora se conocen de las bombas HURCOURT y ROUQUAYROL, y de las locomotoras de aire comprimido en el túnel de San Gotardo;

---

(1) Al tratarse de los aero-motores se completarán cuantitativamente estas ideas.

Y los anteriores números sobre el efecto útil de los mejores compresores aplicados en la actualidad á la produccion del aire percondensado,

Justificadamente me autorizan para considerar como buenos aparatos de compresion los émbolos del sistema diferencial, tanto cuando funcionen simultáneamente impulsados por un solo vástago comun, como cuando funcionen escalonadamente;

Y, siendo los esfuerzos que exigen estos compresores diferenciales, los logaritmos de las compresiones, resultan á la vez:

1.º Evitadas las enormes resistencias finales que en el sistema monocilíndrico entraña la ley de MARIOTTE;

2.º Eludida en gran parte, por el proceso físico, poderoso y permanente de la natural irradiacion, la elevacion destructora de temperatura que acompaña á toda rápida compresion (lo que no impedirá hacer uso simultáneamente de los eficaces recursos frigoríficos, hoy aquilatados por la práctica);

3.º Ahorrada, por consiguiente, la considerable fraccion de trabajo que exige esa desastrosa elevacion de temperatura, y que desaparece acto contínuo con la irradiacion;

Y 4.º Reducida á la importancia de un coeficiente secundario la influencia que en la ley de MARIOTTE ejerce teóricamente la ley de GAY-LUSSAC.

## XIII.

La compresion por escalones (segun debe ya vislumbrarse) puede hacerse:

1.º Sin sujecion á sistema.

2.º Sistemáticamente.

De lo primero no trataremos en esta obra. De lo segundo, sí. La compresion por escalones, sistemáticamente realizada, puede ser de dos maneras:

1.ª Logarítmica diferencial;

2.ª Logarítmica no diferencial.

Acabamos de ver que nuestros émbolos conjugados pertenecen á la primera.

La segunda merece estudio especial, al cual consagraremos el siguiente capítulo.

# CAPÍTULO V.

## ÉMBOLOS LOGARÍTMICOS DEL SISTEMA NO DIFERENCIAL.

### I.

Comprendida la compresion logarítmica, bastan muy pocas palabras para la escalonada no diferencial.

Supongamos que por el sistema monocilíndrico queremos condensar aire á $2^{atm}$. Sabemos que el período de la condensacion es igual al del almacenaje en ese sistema; y, además, que el primero es de esfuerzos crecientes y el segundo de esfuerzos constantes.

Sabemos tambien que el auxilio atmosférico se utiliza en él, así en el período de trabajo creciente como en el constante.

Sabemos, en fin, que la fuerza necesaria para el período entero del almacenar dura la mitad del viaje del piston, y es igual, durante todo ese medio viaje, á la que con émbolos diferenciales :: 2 : 1 es preciso aplicar solo en el último instante justamente de la condensacion. Recordado esto, supongamos que, por el sistema monocilíndrico, hemos llenado de aire á $2^{atm}$ un vastísimo almacen; y que, en esta atmósfera artificial, de doble densidad que la normal ambiente, funciona un segundo cilindro, de igual altura que el anterior, pero de mitad de base; siendo, por consiguiente, su capacidad igual á $\frac{1}{2}$ de la del primer cilindro.

Si, pues, con este segundo cilindro, nos proponemos condensar aire á 4 atmósferas (siempre dentro de la atmósfera artificial de á 2), el trabajo de la condensacion hasta $4^{atm}$ durará tambien tanto como el del almacenaje, y los esfuerzos necesarios para verificar el trabajo en la atmósfera artificial, serán exactamente iguales á los homólogos en la atmósfera ambiente con el primer cilindro.

Y si, por medio de otro tercer cilindro, de la misma altura que los anteriores, pero de base igual á $\frac{1}{4}$ de la del primero, nos dedicamos á condensar (dentro de la segunda atmósfera artificial, cuya densidad es cuádruple de la ambiente) aire á $8^{atm}$, ascenderán los períodos, esfuerzos y auxilios á las mismas cantidades que los correspondientes á los del primer cilindro.....

## II.

Figurémonos ahora que un solo vástago mueve simultáneamente los émbolos de los 3 cilindros (cada uno de los 2 últimos funcionando en su atmósfera artificial respectiva).

Y tendremos un sistema no diferencial de émbolos conjugados, en el cual

El cilindro mayor se alimenta del aire ambiente, y llena á $2^{atm}$ el almacen primero;

El cilindro mediano se alimenta de aire á $2^{atm}$, procedente de este almacen, y llena de aire á $4^{atm}$ el segundo;

Y el cilindro menor toma de este segundo almacen el aire á $4^{atm}$, y lo deposita á 8 en el almacen final.

Fig. 178.

## III.

No me parece que este sistema sea superior, ni siquiera que llegue á igualar, al sistema diferencial. Exige un cilindro ménos para una determinada y misma percondensacion, pero en cambio necesita varios almacenes intermedios. El total de almacenes iguala al de cilindros.

Sin embargo, este sistema es logarítmico, perfectamente logarítmico; y, á no existir ya para nosotros el diferencial puro, ofreceria la inapreciabilísima ventaja de eludir las monstruosas resistencias finales del sistema monocilíndrico, cuando por él se llega á elevadísimas tensiones.

Por esto le dedico capítulo especial, así como por ser su teoría, en gran parte, aplicable á los sistemas que vamos luego á estudiar de los Foros simples y de los helicoidales.

La ley de Gay-Lussac no es temible en este sistema logarítmico y no diferencial.

## IV.

Una observacion. El sistema, por ser monocilíndrico, no es diferencial; pero por su conjugacion es logarítmico, aunque lo logarítmico sea de otro modo que en los émbolos perfectamente diferenciales.

En efecto:

Los esfuerzos en uno y otro son los logaritmos de las densidades; en esto no difieren: la diferencia se encuentra en los TIEMPOS durante los cuales se requieren esos esfuerzos.

En el sistema diferencial, el máximo esfuerzo dura un solo instante: en el no diferencial tiene que sostenerse durante TODA la segunda mitad del viaje de los pistones (cuando la base es 2).

Si llamamos $F$ la fuerza necesaria para almacenar á doble densidad el aire tomado á la atmósfera ambiente por el primer cilindro (*fig.* 178), será tambien $F$ el esfuerzo exigido por el cilindro segundo; y $F$ asimismo el relativo al tercero..... Por manera que

| | | | |
|---|---|---|---|
| Si para almacenar el aire | á $2^{atm}$ | necesitamos | $F$, |
| para almacenarlo | á $4^{atm}$ | se requerirán | $2F$, |
| para | á 8 | | $3F$, |
| para | á 16 | | $4F$, |
| para | á 32 | | $5F$, |

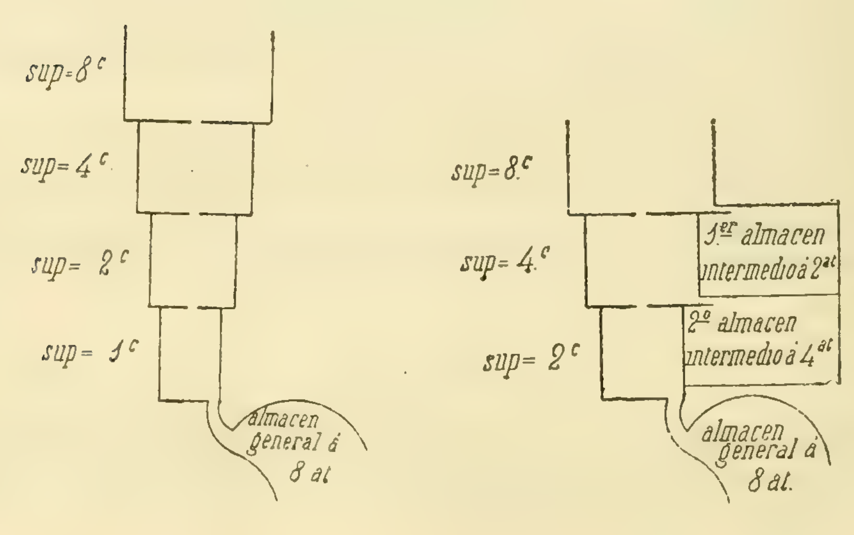
LOGARITMOS DE LAS DENSIDADES, etc.

## V.

Un ejemplo:

De los 3 cilindros, todos de igual altura, tiene (supongamos):

El 1.º, 8 módulos de base (ó centímetros de superficie);
El 2.º, 4,
Y el 3.º, 2.




g. 179. Fig. 180.

Las resistencias al almacenaje serán respectivamente durante el ½ viaje final de los émbolos:

$8^{mod} \times (2^{atm}$ — $1^{atm}$ del auxilio atmosférico)........ $= 8^{k}$
$4^{mod} \times (4^{atm}$ — $2^{atm}$ del auxilio del primer almacen).. $= 8^{k}$ } $24^{k}$
$2^{mod} \times (8^{atm}$ — $4^{atm}$ del auxilio del segundo almacen). $= 8^{k}$

Cada almacen auxilia con el número de atmósferas correspondiente á su densidad.

Por el sistema diferencial tambien sería de $24^{k}$ el máximo esfuerzo final; pero ese solamente.

Mas, como el período del almacenaje á $2^{atm}$ dura en el sistema no diferencial la mitad del viaje de cada piston, la condensacion, recondensacion..... y percondensacion requieren en este nuevo método la mitad naturalmente del tiempo á ellas destinado por los cilindros diferenciales.

Y, prescindiendo (que no se debe prescindir) de la necesidad de un motor más vigoroso, indispensable para sostener durante mucho tiempo un esfuerzo determinado, desde luego se echará de ver cuán inferior, comparado con el diferencial, tiene que ser el sistema no diferencial de émbolos no conjugados, si se han de impedir los efectos de la formidable ley de Gay-Lussac (verdaderamente no temible ya con este sistema logarítmico no diferencial).

La lentitud es condicion preciosa, que evita en las condensaciones los grandes desarrollos de calor, y la necesidad de frigorizaciones muy enérgicas.

## VI.

Ciertamente presentan estos órganos grandes ventajas, y superioridad incontestable sobre el vitando sistema simplemente monocilíndrico; pero, como saltan á la vista sus inconvenientes respecto á la ley de Gay-Lussac, yo no titubearia un solo instante en preferirles los sistemas diferenciales, intercalarios ó no, en cuyo estudio hemos ocupado los precedentes capítulos. Sistema logarítmico diferencial que, por la lentitud en su marcha, no necesitaria acaso frigorizaciones artificiales, la exigiria de cierto convertido en logarítmico no diferencial.

Y no quiero terminar sin insistir de nuevo en que quizá lo de ménos en contra de los émbolos no diferenciales, es el requerir, durante muchos segundos, una potencia que los otros reclaman para el solo momento final; pues precisamente lo que patentiza con toda evidencia la superioridad de los diferenciales, ès la inapreciable propiedad de llegar con doble lentitud al mismo grado de condensacion.

## VII.

Los émbolos intercalares pudieran usarse tambien en el sistema logarítmico no diferencial, y su teoría no puede ya ofrecer dificultades.

Claro es tambien que, si en vez de estar conjugados los émbolos, funcionasen separados en cilindros establecidos á grandes distancias,

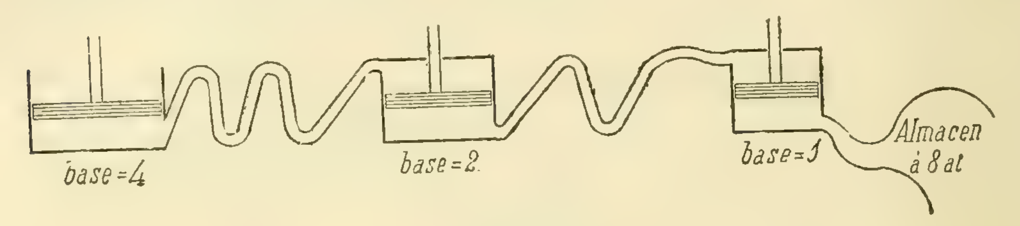



Fig. 181.

necesitaria cada uno un motor aislado y especial. Los motores serían todos iguales entre sí, relativamente á su potencia y eficacia efectiva. Haciendo pasar por agua el aire comprimido en cada cilindro, se obtendria seco el gas.

De este modo tendríamos un sistema logarítmico de condensacion por escalones, siempre que, siendo todos de una misma altura, estuviesen las bases en razon geométrica inversa de las densidades del gas percondensado.

Por tal razon llamaré á estos aparatos cilindros «simplemente escalonados.»

Claro es tambien que á estos cilindros puede adaptarse la pulverizacion, unida á los demás medios refrigerantes, absorbentes del calor.

Estos aparatos estarán, por supuesto, provistos de flotadores, llaves de purga, etc., etc.

## VIII.

En resúmen:

El trabajo de cada cilindro escalonado sigue las reglas del sistema monocilíndrico.

Pero, conjugados, entran en ley logarítmica: lo logarítmico, pues, radica en la conjugacion.

El conjunto total del trabajo de la conjugacion consta (como en el sistema monocilíndrico) de dos períodos sucesivos, é iguales en duracion (1), si cada cilindro dobla la densidad del aire que lo alimenta; á saber:

Un primer período de trabajo creciente;

---

(1) Los períodos serían desiguales si cada cilindro triplicase, cuadruplicase, etc., la densidad de su aire de alimentacion. Entonces el segundo período sería menor que el primero. Y el primero sería menor que el segundo si la densidad no llegara á ser doble.

Y otro segundo período de trabajo constante.

Una curva ascendente muy poco pronunciada, seguida de un plano horizontal, representa, como en el sistema simplemente monocilíndrico, el trabajo logarítmico de esta conjugacion.

El auxilio atmosférico favorece á la potencia en los dos períodos creciente y constante; pero no alcanza por sí solo á realizar el almacenaje. Porque el almacenaje no es simultáneo del proceso de la condensacion en el sistema escalonado. (Véase, para formar VOERSTELLUNG por analogía, la lámina frente á la pág. 337.)

X.

El sistema escalonado se presta á muchas combinaciones, con especialidad á un método mixto de compresion, á la vez diferencial y monocilíndrica.

Si con 3 cilindros : : 4 : 2 : 1 quisiéramos condensar aire á $8^{atm}$ (no á 4), segun marca la *fig.* 182, emplearíamos un método mixto. Con efecto, por medio del cilindro mayor y el mediano comprimiríamos «diferencialmente» aire hasta obtenerlo á $2^{atm}$; por medio del mediano y del menor condensaríamos, «tambien diferencialmente,» la misma masa de aire hasta $4^{atm}$. Pero, si con el solo cilindro menor quisiéramos percondensar ese aire á 4 hasta elevarlo á $8^{atm}$, el trabajo que requiriese esta percondensacion sería monocilíndrico.

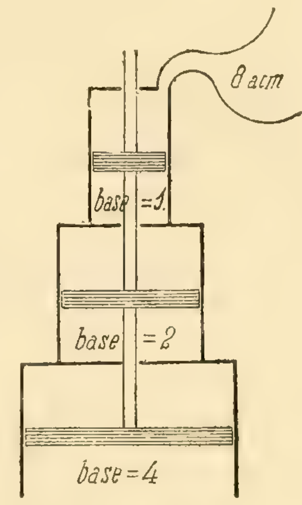



Fig. 182.

# LIBRO II.

---

## COMPRESION POR INMERSION.

# CAPÍTULO I.

## SISTEMA DE LA INMERSION.

### I.

Si sumergimos un cuerpo muy ligero, por ejemplo, un pedazo de corcho, este cuerpo sube inmediatamente á la superficie del agua en cuanto cesa el esfuerzo que lo mantenia sumergido. Sumérjase una gran cantidad de aceite encerrado en una vasija de poco peso; y, por mucha que sea la profundidad á que lo hagamos descender, la vasija subirá con su contenido, no bien quede en libertad.

Habituados, pues, á ver subir á la superficie, en cuanto se le suelta, todo cuerpo más ligero que el agua introducido en este líquido á la fuerza, parecerá que es extraña paradoja la siguiente proposicion:

Pueden darse cuerpos flotantes que, suficientemente sumergidos, lejos de subir, se vayan irremisiblemente al fondo.

Esto resulta contraponiendo el principio de ARQUÍMEDES á la ley de MARIOTTE.

Y nada más fácil que hacer el experimento.

En un recipiente que contenga agua en bastante profundidad (entre los utensilios domésticos, una tinaja puede servir para el caso) introduzcamos una botella llena de aire, la boca hácia el fondo; rodeemos de plomo el cuello de la redoma hasta que el fondo sobresalga del líquido una muy pequeña cantidad (digamos 1 milímetro); si entonces sumergimos la redoma un par de centímetros, ésta vuelve á la superficie; pero si la inmersion excede de esta cantidad, la redoma se va al fondo, para no volver á subir sino por la accion de un agente exterior.

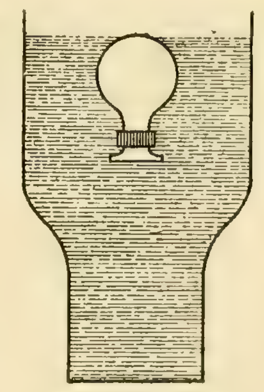
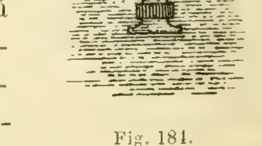


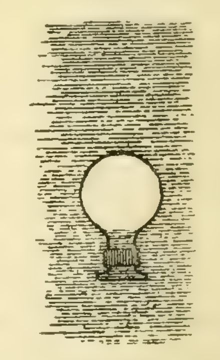
Fig. 183.

Una vasija análoga llena de aceite que, con su abertura hácia abajo fuese sumergida hasta el fondo de un mar profundo, volveria á la superficie en cuanto quedase suelta. Esa misma vasija llena de aire, y llevada á la misma profundidad, nunca subiria por su propia virtud: es más; llevada á cierta distancia de la superficie, descenderia con un movimiento crecientemente acelerado.

Fácil es la explicacion de esta paradoja. Segun el principio de Arquímedes, todo cuerpo pierde de su peso lo que pesa el fluido que desaloja; y, segun la ley de Mariotte, el volúmen de un gas está en razon inversa de la presion que soporta. Si, pues, una redoma llena de aire, y la boca hácia abajo, se introduce en un líquido, y se la lastra lo suficiente á que el fondo superior quede rasante, ó casi, con la superficie líquida, es claro que desalojará un peso de agua casi igual al de la redoma, al del lastre, y al de la pequeña cantidad de líquido que, por efecto de la compresion del aire, hubiese entrado en el cuello de la vasija (1).


Fig. 184.

Y, siendo la suma de estos pesos menor que la del agua desalojada, la vasija flotará. Pero, si una fuerza cualquiera sumerge la redoma, la presion del líquido comprimirá más el aire del interior: reduciéndose su volúmen, entrará agua dentro de la redoma en mayor cantidad que antes; el líquido desalojado por el aire será ménos; la redoma y su lastre perderán ménos de su peso; y en cuanto su fuerza de gravedad sea mayor en peso que el del líquido desalojado, el sistema se irá á fondo. Y se irá con velocidad cada vez mayor, porque, mientras más profundamente descienda, menor espacio ocupará el aire comprimido. A una profundidad de 4000 metros tendria el aire la densidad de 400 atmósferas, y ocuparia 400 veces ménos espacio, si la ley de Mariotte fuese completamente exacta á tan enorme profundidad. El líquido desalojado por el aire sería entonces una cantidad insignificante; y, por tanto, el sistema perderia muy poco de su peso, y, por consiguiente, se hundiria con redoblada velocidad.


Fig. 185.

Antes de pasar adelante, conviene observar que, siendo iguales y contrarias las presiones que experimentaria el vidrio, así en el interior como en el exterior, la redoma no podria romperse. Por fuera, presion del agua á $400^{atm}$; por dentro, presion del agua y del aire á igual número de atmósferas.

---

(1) La botella invertida, lastrada, y más ó ménos repleta de aire, pierde *siempre* el mismo peso, igual al peso del agua correspondiente á su volúmen externo, incluso el del lastre. Y como el peso del aparato se compone del peso del casco de la botella, del lastre, del aire que contiene en diversos estados de condensacion y de *agua compresora* de este aire, que poco á poco ha logrado penetrar en la botella, resulta: 1.° que si la pérdida es mayor que el capital, flotará la botella; 2.° si igual, permanecerá flotante ó sumergida en reposo; y 3.° si menor, se irá la botella al fondo. Y esto último sucederá con tanta mayor facilidad ó rapidez, cuanto mayor sea el *peso de la botella*, creciente con la entrada del agua compresora del aire.

II.

Hé aquí un método nuevo de comprimir aire, que tiene la particularidad de exigir ménos esfuerzos al fin que al empezar, desde que el continente está bajo el agua.

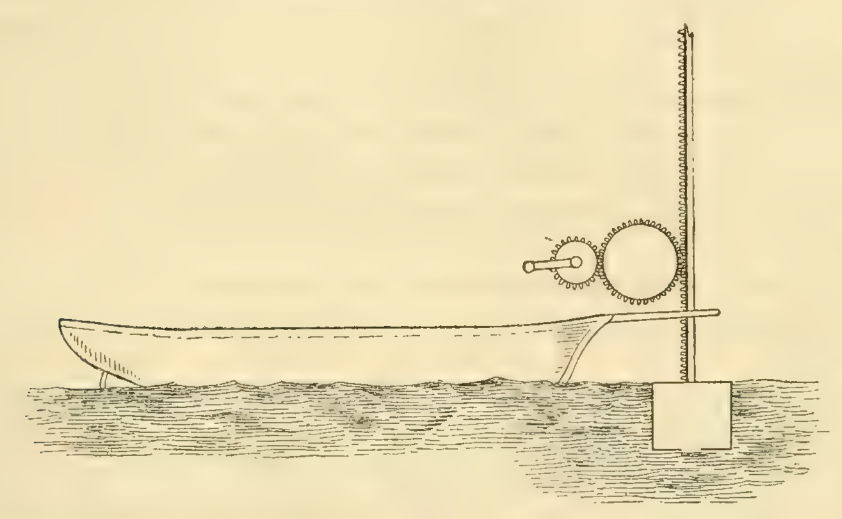


Fig. 186.

Supongámonos á bordo de un ponton, fondeado en mucha agua;

Supongamos que desde el ponton queremos sumergir, por medio de un torno y una cremallera, 1 metro cúbico, hueco en el interior: cuando el fondo superior del metro cúbico esté rasante con la superficie del agua, el cuerpo desalojará casi una tonelada de líquido; y, por consiguiente, tendremos que hacer una fuerza equivalente para sumergirlo; pero, á medida que el metro cúbico descienda penetrará más agua en su interior, la cual comprimirá el aire; y, cuando el cuerpo haya descendido á la profundidad de $10^{m}$, el aire ocupará el volúmen de medio metro cúbico por hallarse comprimido á $2^{atm}$ (casi): desalojará, por consiguiente, solo media tonelada; y no habrá, por tanto, que hacer, para mantenerlo á esa profundidad, más fuerza que la equivalente á 500 kilógramos. El esfuerzo inicial tuvo que ser casi de $1000^{k}$; pero al final de la compresion bastó uno de $500^{k}$ (próximamente).

Así, cuando se comprime el aire por medio de cilindros, son los esfuerzos finales más enérgicos que los iniciales; pero cuando se comprima un gas por el sistema de la inmersion, serán ménos enérgicos los esfuerzos finales que los iniciales, desde que el recipiente compresor llegue á estar RASANTE con el nivel libre del líquido.

III.

Otra particularidad.

Para comprimir aire á $2^{atm}$ por el sistema monocilíndrico, el tiempo del trabajo creciente de la condensacion es igual al del almacenaje.

Condensando el aire (por el sistema inmergente) de 1 á $2^{atm}$, el tiempo del trabajo (decreciente) de la condensacion dura más de $9^{m}$, y el del almacenaje solamente $\frac{1}{2}$.

Si quisiéramos aire á $4^{atm}$, á $8^{atm}$..... (habiendo profundidad de agua bastante), el tiempo del trabajo de esfuerzos decrecientes necesarios á la condensacion, sería el invertido (respectivamente) en descender $30^{m}$, $70^{m}$....., casi; y el tiempo necesario al almacenaje (respectivamente tambien) el empleado en recorrer $\frac{1}{4}^{m}$, $\frac{1}{8}$.....

La ley, pues, de las condensaciones por el sistema de la inmersion, tiene que ser muy diferente de la ley á que están sometidas en los varios sistemas de cilindros.

Por de pronto se nos hace patente la diferencia cuando se trata del almacenaje.

En el sistema diferencial de los émbolos conjugados, el almacenaje se hace á costa del auxilio atmosférico, y, por tanto, es siempre una cantidad constante, igual en kilógramos al número de módulos contenidos en la base del cilindro mayor. Tambien por el sistema monocilíndrico es cantidad constante la del almacenaje, si bien el auxilio atmosférico no juega el mismo papel.

Pero, por el sistema de la inmersion, el almacenaje es una cantidad que decrece á medida que la condensacion se hace á mayor número de atmósferas.

En efecto, cuando en el metro cúbico está el aire á $2^{atm}$, el agua desplazada es solo en cantidad de 500 litros, cuyo peso excede un poco de $\frac{1}{2}$ tonelada. Si entonces, por medios adecuados, dejamos pasar á su correspondiente almacen el aire ya comprimido, ocupará naturalmente el agua los espacios antes llenos de aire; el desalojado líquido irá progresivamente disminuyendo hasta reducirse á cero; y, por consiguiente, los esfuerzos necesarios para el almacenaje oscilarán entre $500^{k}$ (1) y cero, y (en las hipótesis anteriores) durarán $\frac{1}{2}$ segundo, lo que en kilográmetros será término medio

$$\left(\frac{\frac{1}{2}\,1000^{\text{litros}}+0}{2}\right)\times\frac{1}{2}^{s}=\left(\frac{500^{k}+0}{2}\right)\times\frac{1}{2}^{s}=125 \text{ kilográmetros próximamente.}$$

Si en vez de aire á $2^{atm}$, hubiéramos de almacenarlo á 4, el volúmen del

(1) Este número no es enteramente exacto. Véase luego.

comprimido gas sería solo de 250 litros; el peso, próximamente de 250 kilógramos; el tiempo, ¼ de segundo; y el número de kilográmetros =

$$\left(\frac{\frac{1}{4}\,1000^{\text{litros}}+0}{2}\right)\times\frac{1}{4}^{\text{s}}=\left(\frac{250^{\text{k}}+0}{2}\right)\times\frac{1}{4}^{\text{s}}=32 \text{ kilográmetros próximamente.}$$

De un modo análogo tendríamos para el almacenaje del aire á $8^{\text{atm}}$,

$$\left(\frac{\frac{1}{8}\times1000^{\text{litros}}+0}{2}\right)\times\frac{1}{8}^{\text{s}}=8 \text{ kilográmetros próximamente.}$$

Y, en general, para almacenar, por el sistema de la inmersion, con 1 metro cúbico, aire á $n$ atmósferas,

$$\left(\frac{\frac{1}{n}\times1000^{\text{litros}}+0}{2}\right)\times\frac{1}{n}=m \text{ kilográmetros.}$$

Si, pues, el trabajo del almacenaje en el sistema de la inmersion difiere tanto del correspondiente á los sistemas mono y policilíndrico (iguales en la totalidad), claro es que el trabajo de la condensacion debe tambien, cuando se verifique inmergiendo, diferir de cuando se realice comprimiendo en cilindros (puesto que condensacion y almacenaje deben exigir una misma integracion de esfuerzos, sea cual fuere el sistema á que la mecánica recurra).

## IV.

Aunque á primera vista no lo parece, este sistema es diferencial en la condensacion, aunque no en el almacenaje.

Si sumergimos á $10^{\text{m}}$ de profundidad en agua marina (1) 1 metro cúbico macizo, de modo que estén horizontales 2 de sus 6 caras, la cara inferior experimentará una presion de $2^{\text{atm}}$.

Pero si el metro cúbico fuese hueco, y se hubiera inmergido lleno de aire con el fondo hácia arriba, la presion á los $10^{\text{m}}$ de profundidad no sería ya de 2 atmósferas, sino de ménos, porque, á medida que el metro cúbico descendia, el agua subia en su interior;

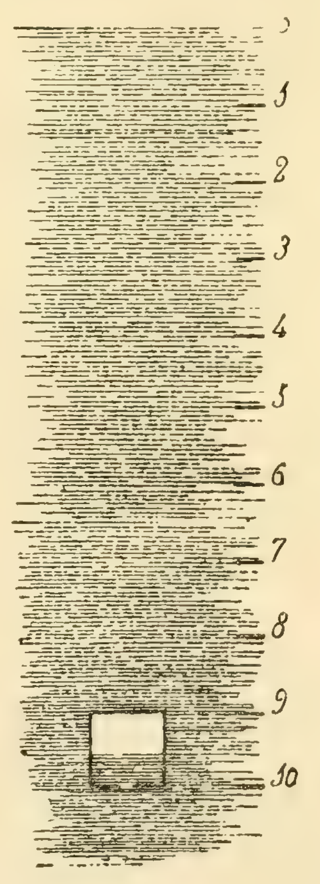



Fig. 187.

(1) Los autores difieren, como ya hemos visto, al designar el peso específico del agua del mar, y sus datos oscilan entre

y, así, el agua introducida en el interior del cubo, contrarestaria sensiblemente el peso de la columna de agua de $10^{m}$.

Ese agua introducida en el cubo, tiene á los $10^{m}$ de profundidad, casi $\frac{1}{2}$ metro de altura; de modo que la presion que soporta el aire es proximamente la que corresponde á $9\frac{1}{2}$ metros de agua marina, y no la de 10 que soportaría el cubo macizo.

V.

Dos problemas ocurren naturalmente en vista de esto:

1.° ¿Cuál será la presion interna dentro de un metro cúbico hueco y lleno de aire, cuando haya descendido en el agua una distancia conocida?

2.° ¿Cuánto tendrá que descender para que la presion interna sea de cierto número de atmósferas, ó fraccion de atmósfera?.....

VI.

En el primer problema pueden ocurrir tres casos:

1.° Que el metro cúbico esté en parte sumergido (*fig.* 188).

2.° Que lo esté por completo;

3.° Que su cara superior esté rasante con la superficie libre del agua del mar.

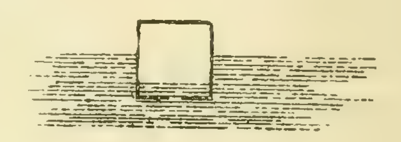
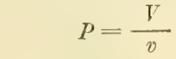


Fig. 188.

VII.

Empezaremos por este último caso; la superficie del agua está rasante con el fondo del cubo (*fig.* 189).

Segun la ley de MARIOTTE, la presion á que está sometido un gas, se computa partiendo el volúmen primitivo por el volúmen nuevo á que la compresion ha reducido el gas:



$$\text{Presion} = \frac{\text{volúmen primitivo}}{\text{volúmen nuevo}}$$

O bien, $$P = \frac{V}{v}$$

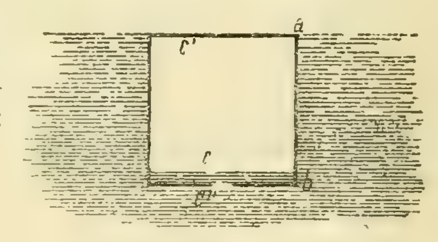


Fig. 189.

1,026 y 1,030. No hay, pues, un error muy sensible en suponer que una columna de 10 metros de agua marina equilibra la presion normal barométrica. La cantidad varía mucho segun las localidades: en el Mar Muerto es de 1,240. Yo he supuesto, por la facilidad de los cálculos, que $10^{m}$ de profundidad ó 1000 centímetros lineales, equilibran la presion normal de $0^{m},760$ de mercurio.

Pero, si se aspirase á una exactitud irreprochable (condicion que no juzgo absolutamente necesaria) sería preciso sustituir esos 1000 centímetros por el número fraccionario verdadero.

En el caso que estamos estudiando, nos es desconocida la altura de la columna líquida que comprime el aire desde fuera del metro cúbico, si bien sabemos que es precisamente igual á la altura $cc'$, que dentro tiene el aire. Llamemos $x$ centímetros á esta carga no conocida de líquido compresor $(= cc')$. Si esta carga de agua marina fuese de 10 metros (ó sea de 1000 centímetros), $x$ comprimiria con la fuerza de 1 atm. efectiva el aire contenido dentro del tubo, y entonces el gas estaria sometido á la presion de 2 atmósferas: una la del aire ambiente, y otra la del agua marina. Pero, como $x$ asciende solo á unos cuantos centímetros, tendremos que la presion es

$$P = 1^{at} + \frac{x}{1000}$$

Por otro lado, sabemos que:
El volúmen primitivo es

$$V = 10000^{c^2} \text{ de la base} \times 100^{c} \text{ de la altura:}$$

y el volúmen nuevo es

$$v = 10000^{c^2} \text{ de la base} \times x \text{ de la altura:}$$

Por tanto, la ecuacion

$$P = \frac{V}{v}$$

se convierte en esta otra

$$1^{at} + \frac{x}{1000} = \frac{10000 \times 100}{10000 \times x}$$

O bien,

$$1^{at} + \frac{x}{1000} = \frac{100}{x} \quad (1).$$

De donde

$$x^2 + 1000x = 100000$$

$$x = 91^{c},60798$$

Y la presion

$$P = 1^{at},09160798$$

(1) Cuando las bases son iguales, la presion es el cuociente de las alturas; $P = \frac{H}{h}$. Y cuando las alturas son iguales, la presion es el cuociente de las bases, $P = \frac{B}{b}$.

## VII.

Vamos ahora al caso segundo.

El metro cúbico ha entrado en el agua del mar $1^m$ y $9^c,0909.....$, es decir, que desde el fondo $c'''$ al nivel $n$ del líquido hay $9^c,09.....$

Y tendremos

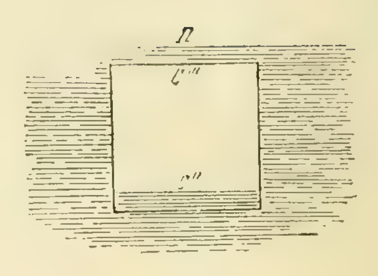


Fig. 190.

$$P = \frac{V}{v}$$

Pero ahora la columna comprimente es

$$(c''\,c''' = x) + (c''' = 9{,}0909.....)$$

Luego

$$1^{at} + \frac{(x + 9^c{,}0909.....)}{1000} = \frac{100}{x}$$

$$x^2 + 1000x \; + \; 9{,}0909x \; = 100000$$

$$x^2 + 1009{,}0909...x = 100000$$

$$x = 90^c{,}909090.....$$

Y presion $\quad P = 1^{at},1.$

En general, y llamando $n$ (1) á la distancia en centímetros desde el fondo del cubo hasta el NIVEL LIBRE del líquido compresor,

$$1^{at} + \frac{x + n}{1000} = \frac{100}{x}$$

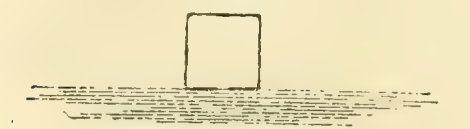
$$x^2 + (1000 + n)\,x = 100000$$

$$x = \frac{1000 + n}{2} \sqrt{\left(\frac{1000 + n}{2}\right)^2 + 100000}$$

$$P = \frac{1000 + x + n}{1000}$$

---

(1) Téngase siempre en cuenta, que cuando $n$ es el número de centímetros de agua que hay entre la cara superior del metro cúbico y el nivel libre del agua, es entonces igual á $n^c + 100^c$ la magnitud total del descenso del metro cúbico desde la posicion de la *fig.* 191, que por consiguiente, llamaré INICIAL; pero la altura del aire aprisionado es siempre y progresivamente $< 100^c$.


Fig. 191.

IX.

Caso 3.°:

El metro cúbico no ha llegado á la rasante;

La altura del aire es $c^{IV}c^{V} = x$;

La carga líquida compresora igual $n c^{IV} = c^{V}c^{IV} - n'n = x - n'n$.

Con lo cual la fórmula

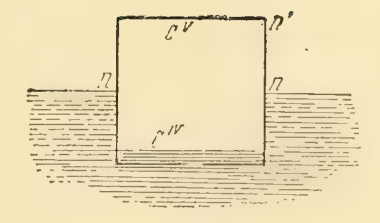


Fig. 192

$$P = \frac{V}{v}$$

se cambia en

$$1^{at} + \frac{x - n}{1000} = \frac{100}{x},$$

si hacemos $nn' = n$.

Luego

$$x^2 + (1000 - n)\, x = 100000.$$

X.

Y la fórmula general será por consiguiente

$$x = -\frac{1000 \pm n}{2} + \sqrt{\left(\frac{1000 \pm n}{2}\right)^2 + 100000};$$

Siendo $n$ la magnitud en centímetros que falta al fondo, ó á la cara superior del metro cúbico, para ponerse rasante con el nivel ó la superficie libre del mar; ó bien la cantidad en centímetros que ha penetrado ya en el agua esa misma cara superior siempre horizontal. Naturalmente $n$ puede ser $= 0$.

XI.

Planteemos ahora el segundo problema enunciado en la Seccion V, página 414, ¿cuánto tendrá que descender un metro cúbico lleno de aire para que la presion interna sea de una determinada magnitud? ¿Por ejemplo de $1,^{atm}1$?

Tendremos la ecuacion

$$P = \frac{V}{v}$$

convertida en la siguiente

$$1^{at},1 = \frac{100}{x},$$

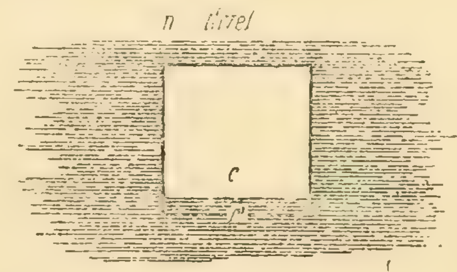


Fig. 193.

De donde

$$x = \frac{100}{1,1} \ldots\ldots\ldots\ldots = 90^c,90909$$

Por otra parte,

$$\frac{1}{10} \text{ de atmósfera en agua marina} = \frac{1000^c}{10} \ldots\ldots = 100^c$$

| | |
|---|---|
| Luego, desde el fondo del metro cúbico hasta el nivel libre del líquido compresor, hay.... | $9^c,0909$ |
| Agreguemos la arista del metro cúbico.... | $100^c$ |
| Luego éste ha descendido.... | $109^c,0909$ |

Y en general,

¿Cuánto necesita descender el metro cúbico para que la presion sea de $1^{at} + n$?

Hallemos primero la altura del aire en el interior del cubo:

$$1^{at} + n = \frac{100}{x}$$

$$x = \frac{100}{1 + n}.$$

Hallemos en seguida la longitud de centímetros necesarios para que la carga de agua marina sea $n$,

$$l = 1000 \times n.$$

Luego desde el fondo superior del metro cúbico hasta el nivel libre del líquido hay

$$l - x = (1000^c \times n) - \frac{100}{1^{at} + n}.$$

Luego el metro cúbico se ha hundido desde la posicion inicial

$$l - x + 100.$$

Otro ejemplo.

¿Cuánto tiene que hundirse el metro cúbico para que el aire llegue á la densidad de 4 atmósferas?

Aquí $n = 3$,

Luego

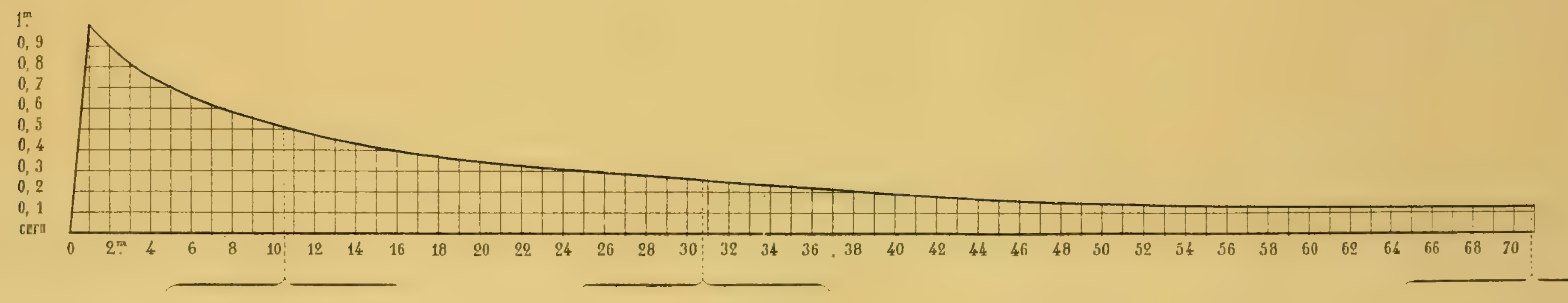
$$l - x + 100 = (1000^c \times 3) - \frac{100^c}{1 + 3} + 100^c$$

$$= 3000 - 25 + 100$$

$$= 30^m,75.$$

# CURVA QUE REPRESENTA EL TRABAJO DE ESFUERZOS CRECIENTES Y DECRECIENTES EN EL SISTEMA DE LA INMERSION.

(Frente á la pág. 419.)



# CAPÍTULO II.

## TEORÍA DEL SISTEMA DE LA INMERSION.—AUXILIO HIDRÁULICO.

### I.

Pensar en llegar á fuertes compresiones haciendo bajar nuestro metro cúbico á la profundidad de centenares de metros en los mares, ó en pozos artificialmente adecuados, sería evidente rasgo de demencia.

Preciso es renunciar al sistema de la inmersion, ó imaginar medios que suplan al de las grandes profundidades.

Por fortuna existen, y más adelante recurriremos á ellos; pero, por ahora y para facilitar el estudio teórico, seguiremos suponiendo que nuestro metro cúbico puede descender (industrialmente) á toda clase de profundidades.

### II.

Bien debe ya venirse en conocimiento de que en el sistema de la inmersion, ha de ser la marcha de las compresiones muy diferente de la marcha correspondiente á cualquier sistema de cilindros. En éstos, los esfuerzos son crecientes (más ó ménos) desde el principio hasta el fin de la condensacion.

En el método inmergente hay dos períodos de condensacion y uno de almacenaje. El primero creciente desde cero hasta una altísima cantidad. El segundo, desde esa cantidad hasta llegar á la densidad apetecida, constantemente decreciente;

El tercero, ó sea el del almacenaje, es siempre decreciente.

De otro modo: crecen los esfuerzos hasta que el cubo llega á la rasante: desde la rasante hácia abajo decrecen sin cesar.

La curva correspondiente de la lámina adjunta, cuya legitimidad quedará luego evidenciada, servirá de VORSTELLUNG en los cálculos que vamos á emprender.

Todo es, pues, raro en este sistema inmergente, comparado con los sistemas cilíndricos. Ni aun los caminos que el metro cúbico debe descender son múltiplos los unos de los otros.

### III.

Prescindamos de las paredes, ó material de que esté construido el metro cúbico compresor; ó, lo que viene á ser lo mismo, supongamos que las caras que determinan la forma geométrica del aire, carecen de peso en absoluto.

Y si, bajo tal hipótesis, calculamos los esfuerzos que debamos efectuar para nacer que el fondo ó cara superior llegue á estar rasante con el nivel libre del agua del mar, nos resultarán los datos que aparecen del adjunto primer estado, en el que se ha supuesto que el metro cúbico desciende á razon de $\frac{1}{10}$ de metro por $\frac{1}{10}$ de segundo, y que la densidad del agua del mar es igual á 1,030.

Se observa, pues, que desde cero hasta la rasante, los esfuerzos crecen con suma rapidez durante el primer metro de bajada.

Pero, como ahora veremos (desde la rasante hácia abajo) los esfuerzos decrecen, aunque con bastante lentitud.

Véase el segundo de los estados adjuntos: en él se supone que, desde la rasante (1), desciende el metro cúbico con la velocidad de $1^m$ por segundo. En el undécimo, solo camina medio segundo el metro cúbico, y recorre, por consiguiente, medio metro, cantidad suficiente para terminar la densidad de 2 atmósferas.

## RESUMEN

*del trabajo por el sistema de la inmersion, necesario para condensar aire á 2 atmósferas, y almacenarlo.*

---

CONDENSACION. (Todo en las hipótesis anteriores.)

| | |
|---|---|
| 1.$^{er}$ período: dura 1 segundo; el trabajo empieza por cero y termina exigiendo un esfuerzo de 943 kilógramos: los esfuerzos son crecientes: el término medio en kilográmetros............. | 470,635 |
| 2.$^o$ período: dura $9\frac{1}{2}$ segundos: el trabajo empieza con 943 kilógramos y termina con 515: los esfuerzos son progresivamente decrecientes: el término medio es en kilográmetros.........= | 6541,167 |
| Importa el trabajo de la condensacion en $10^s,5$.............= | 7011,802 |

ALMACENAJE:

| | |
|---|---|
| 3.$^{er}$ período: dura $\frac{1}{2}$ segundo: el trabajo empieza en 515 kilógramos y termina con cero: los esfuerzos son decrecientes: término medio en kilográmetros $\left(\frac{515^k+0}{2}\right) \times \frac{1}{2}$ segundo..........= | 128,750 |
| | 7140,552 |

---

(1) Claro es que, cuando despues de la rasante, anda el metro cúbico $100^c$, lleva ya 2 metros de descenso, puesto que habia invertido ya $1^m$ en ponerse rasante desde la posicion llamada INICIAL en la nota de la página 416.

*Trabajo para sumergir* $1^{m^3}$ *hasta dejarlo rasante.* (1.°—Frente á la pág. 420.)

| Centímetros que ha descendido en el agua el metro cúbico. | Altura del aire en el interior del metro cúbico. | | Altura de la columna hidráulica compresora. | Volúmen del agua desplazada. | Peso de esta agua siendo *Densidad* = 1,03. | Términos medios. | Id. × 1^s. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | | 100$^c$ | 0$^c$ | 0 | 0 | 0 | |
| 10 | $-\frac{1000-90}{2}+\sqrt{455^2+100000} = +554,0983$ $-455$ | 99,0983 | 10$^c$ — 0,902 = 9$^c$,0983 | 90983$^{c3}$ | 93$^k$,712 | 46$^k$,856 | |
| 20 | $-\frac{1000-80}{2}+\sqrt{460^2+100000} = +558,2114$ $-460$ | 98,2114 | 20 — 1,789 = 18$^c$,2114 | 182114$^{c3}$ | 187$^k$,577 | 140$^k$,644 | |
| 30 | $-\frac{1000-70}{2}+\sqrt{465^2+100000} = +562,3388$ $-465$ | 97,3388 | 30 — 2,662 = 27$^c$,3388 | 273388$^{c3}$ | 281$^k$,589 | 234$^k$,583 | |
| 40 | $-\frac{1000-60}{2}+\sqrt{470^2+100000} = +566,4803$ $-470$ | 96,4803 | 40 — 3,520 = 36$^c$,4803 | 364803$^{c3}$ | 375$^k$,747 | 328$^k$,668 | |
| 50 | $-\frac{1000-50}{2}+\sqrt{475^2+100000} = +570,6356$ $-475$ | 95,6356 | 50 — 4,365 = 45$^c$,6356 | 456356$^{c3}$ | 470$^k$,046 | 422$^k$,896 | |
| 60 | $-\frac{1000-40}{2}+\sqrt{480^2+100000} = +574,8043$ $-480$ | 94,8043 | 60 — 5,196 = 54$^c$,8043 | 548043$^{c3}$ | 564$^k$,484 | 517$^k$,265 | Kilográmetros. 470,635 |
| 70 | $-\frac{1000-30}{2}+\sqrt{485^2+100000} = +578,9861$ $-485$ | 93,9861 | 70 — 6,014 = 63$^c$,9861 | 639861$^{c3}$ | 659$^k$,056 | 611$^k$,770 | |
| 80 | $-\frac{1000-20}{2}+\sqrt{490^2+100000} = +583,1809$ $-490$ | 93,1809 | 80 — 6,819 = 73$^c$,1809 | 731809$^{c3}$ | 753$^k$,763 | 706$^k$,409 | |
| 90 | $-\frac{1000-10}{2}+\sqrt{495^2+100000} = +587,3881$ $-495$ | 92,3881 | 90 — 7,612 = 82$^c$,3881 | 823881$^{c3}$ | 848$^k$,597 | 801$^k$,180 | |
| 100 | $-\frac{1000-0}{2}+\sqrt{500^2+100000} = +591,6079$ $-500$ | 91,6079 | 100 — 8,392 = 91$^c$,6079 | 916079$^{c3}$ | 943$^k$,561 | 896$^k$,079 | |
| | | | | | | 4706$^k$,350 | |

## *Trabajo para sumergir* $1^{m^3}$ *á la profundidad de* $10^m,5$ ($9^m,5$ *despues de la rasante*). (2.º—Frente á la pág. 420.)

| | Altura del aire en el interior del metro cúbico. | Altura de la columna hidráulica compresora. | Volúmen del agua desplazada. | Peso de esta agua: $D=1{,}030$. | Términos medios en medios-kilográmetros. |
|---|---|---|---|---|---|
| Peso al fin de la rasante. | ........ | ........ | ........ | $943^k$,561 | |
| Al segundo y medio..... | $-\frac{1000+50}{2}+\sqrt{525^2+100000}$ = 612,8825 — 525 = 87,8825 | 137,8825 | 878825 | 905 ,189 | 924,375 |
| A los $2^s$ de empezar..... | $-\frac{1000+100}{2}+\sqrt{550^2+100000}$ = 634,4288 — 550 = 84,4288 | 184,4288 | 844288 | 869 ,616 | 887,402 |
| A los $2\frac{1}{2}^s$........... | $-\frac{1000+150}{2}+\sqrt{575^2+100000}$ = 656,2202 — 575 = 81,2202 | 231,2202 | 812202 | 836 ,568 | 853,092 |
| A los $3^s$.......... | $-\frac{1000+200}{2}+\sqrt{600^2+100000}$ = 678,2329 — 600 = 78,2329 | 278,2329 | 782329 | 805 ,789 | 821,178 |
| A los $3\frac{1}{2}^s$........... | $-\frac{1000+250}{2}+\sqrt{625^2+100000}$ = 700,4462 — 625 = 75,4462 | 325,4462 | 754462 | 777, 096 | 791,442 |
| A los $4^s$.............. | $-\frac{1000+300}{2}+\sqrt{650^2+100000}$ = 722,8416 — 650 = 72,8416 | 372,8416 | 728416 | 750 .268 | 763,682 |
| A los $4\frac{1}{2}^s$........... | $-\frac{1000+350}{2}+\sqrt{675^2+100000}$ = 745,4025 — 675 = 70,4025 | 420,4025 | 704025 | 725 ,146 | 737.707 |
| A los $5^s$............... | $-\frac{1000+400}{2}+\sqrt{700^2+100000}$ = 768,1145 — 700 = 68,1145 | 468,1145 | 681145 | 701 ,579 | 713,362 |
| A los $5\frac{1}{2}^s$........... | $-\frac{1000+450}{2}+\sqrt{725^2+100000}$ = 790,9646 — 725 = 65,9646 | 515,9646 | 659646 | 679 ,435 | 690,507 |
| A los $6^s$............... | $-\frac{1000+500}{2}+\sqrt{750^2+100000}$ = 813.9412 — 750 = 63,9412 | 563,9412 | 639412 | 658 ,594 | 669,014 |
| A los $6\frac{1}{2}^s$........... | $-\frac{1000+550}{2}+\sqrt{775^2+100000}$ = 837,0334 — 775 = 62,0334 | 612,0334 | 620334 | 638 ,944 | 648,769 |
| A los $7^s$............... | $-\frac{1000+600}{2}+\sqrt{800^2+100000}$ = 860,2325 — 800 = 60,2325 | 660,2325 | 602335 | 620 ,395 | 629.669 |
| A los $7\frac{1}{2}^s$........... | $-\frac{1000+650}{2}+\sqrt{825^2+100000}$ = 883,5298 — 825 = 58,5298 | 708,5298 | 585298 | 602 ,857 | 611.626 |
| A los $8^s$............... | $-\frac{1000+700}{2}+\sqrt{850^2+100000}$ = 906,9178 — 850 = 56,9178 | 756.9178 | 569178 | 586 ,253 | 594,555 |
| A los $8\frac{1}{2}^s$........... | $-\frac{1000+750}{2}+\sqrt{875^2+100000}$ = 930.3897 — 875 = 55,3897 | 805,3897 | 553897 | 570 ,514 | 578,383 |
| A los $9^s$............... | $-\frac{1000+800}{2}+\sqrt{900^2+100000}$ = 953,9392 — 900 = 53,9392 | 853,9392 | 539392 | 555, 574 | 563.044 |
| A los $9\frac{1}{2}^s$........... | $-\frac{1000+850}{2}+\sqrt{925^2+100000}$ = 977,5607 — 925 = 52,5607 | 902,5607 | 525607 | 541 ,375 | 548,474 |
| A los $10^s$............... | $-\frac{1000+900}{2}+\sqrt{950^2+100000}$ = 1001,2492 — 950 = 51,2492 | 951,2492 | 512492 | 527 ,867 | 534,621 |
| A los $10\frac{1}{2}^s$........... | $-\frac{1000+950}{2}+\sqrt{975^2+100000}$ = 1025 — 975 = 50 | 1000 | 500000 | 515 | 521,433 |
| | | | | | $\frac{13082{,}335}{2} = 6541^k{,}167$ |

Esta suma difiere alguna cosa de la que daria la condensacion y almacenaje por el sistema monocilíndrico.

En efecto: con un piston de $10000^{c2}$ de área, que anduviese $1^m$ en un segundo, tendríamos en un cilindro de $1\ 000\ 000^{c3}$ de capacidad lo siguiente:

| Tiempo. | Volúmen que ocupa el aire comprim. | Presion á razon de $1^k,0336$ por $c^2$. | Kilógramos. | Kilógramos del auxilio atmósf.° | Diferencia ó esfuerzo necesario para bajar el piston. | Términos medios en kilográmetros. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1.er décimo de segundo....... | $\frac{9}{10}$ | $\frac{10}{9}$ | 11484 | 10336 | 1148 | 57,4 |
| 2.° décimo de segundo....... | $\frac{8}{10}$ | $\frac{10}{8}$ | 12920 | 10336 | 2584 | 186,6 |
| 3.er décimo de segundo....... | $\frac{7}{10}$ | $\frac{10}{7}$ | 14765 | 10336 | 4429 | 345,6 |
| 4.° décimo de segundo....... | $\frac{6}{10}$ | $\frac{10}{6}$ | 17226 | 10336 | 6890 | 565,9 |
| 5.° décimo de segundo....... | $\frac{5}{10}$ | 2 | 20672 | 10336 | 10336 | 861,3 |
| Período creciente de la condensacion........................................ | | | | | | 2016,8 |
| Período del almacenaje durante $\frac{5}{10}$ de segundo.................................. | | | | | | 5168 |
| | | | | | | 7184,8 |

La razon de la diferencia consiste en haber admitido como enteramente exacta la hipótesis de que una columna de agua marina cuya altura sea de $10^m$ con la densidad de 1,03, es igual á la presion atmosférica normal: para la perfecta conformidad era necesario suponer la densidad del agua marina $=1,0336$, ó bien hacer algo mayor de $10^m$ la columna con la densidad de 1,030.

Como es fácil de ver, la discrepancia entre los calculos facilita la exposicion de la doctrina sin perjuicio esencial respecto al fondo de la cuestion.

## IV.

Desde la condensacion de 2 atmósferas hasta la de 4, el esfuerzo es decreciente; pero no simétrico con el que acabamos de estudiar. Mientras que el paso de $1^{atm}$ á 2 se hace en $10\frac{1}{2}$ segundos, el de 2 á 4 se efectúa en $20\frac{1}{4}$, cantidad que, como se ve, no es comensurable con la anterior. El conjunto de esfuerzos necesarios para pasar de 1 á 4 atmósferas, y el almacenaje de esta con-

densacion, de nuevo iguala al número de kilográmetros que exigiria el mismo trabajo por el sistema monocilíndrico. Y, para patentizarlo, he formado el estado adjunto, en el que se supone que el metro cúbico desciende siempre con la velocidad de $1^{m}$ por segundo.

## RESÚMEN

*del trabajo que, por el sistema de la inmersion, es necesario para condensar aire de 2 á $4^{atm}$ y almacenarlo.*

---

| | |
|---|---|
| 1.$^{er}$ período, de la condensacion: dura $20\frac{1}{4}$ segundos: empieza con 515 kilógramos, y termina con 257,5: los esfuerzos son progresivamente decrecientes: el término medio es en kilográmetros ........................................ = | 7237,966 |
| 2.$^{o}$ período, del almacenaje: dura $\frac{1}{4}$ de segundo: el trabajo empieza con 257 kilógramos y acaba en cero: los esfuerzos son decrecientes: término medio en kilográmetros $=\left(\frac{257^{k}+0}{2}\right)\times\frac{1}{4}$ seg.= | 32,125 |
| *Total por condensacion y almacenaje desde 2 á $4^{atm}$.....* | 7270,091 |

Integrando todo el trabajo desde 1 á $2^{atm}$ con el de la condensacion desde 2 á $4^{atm}$, juntamente al del almacenaje, tendremos:

| | Kilográmetros. |
|---|---|
| Condensacion de 1 á $2^{atm}$, segun el resúmen pág. 420......... | 7011,802 |
| Condensacion de 2 á 4, segun el resúmen anterior............ | 7237,966 |
| *Total de la condensacion.....* | 14249,768 |
| Almacenaje, segun el resúmen anterior.................... | 32,125 |
| *Total kilográmetros.....* | 14281,893 |
| Por el sistema monocilíndrico habria costado el mismo trabajo... | 14369 (1) |

Vemos, pues, que la ley de los esfuerzos en el sistema de la inmersion puede formularse así:

El total de kilográmetros necesario para la condensacion y el almacenaje de un gas obediente á la ley de MARIOTTE es, para un determinado número de atmósferas, igual á la suma de kilográmetros que importa en el sistema mono-

---

(1) La diferencia debe explicarse diciendo, como antes, que no es exactamente igual á $1^{atm}$ la presion de una columna de $10^{m}$ de agua marina cuya densidad sea de 1,030. Lo sería cuando la densidad fuese 1,0336 ó la columna mayor de $10^{m}$ con la densidad de 1,030.

| | Altura del aire en el interior del metro cúbico. | | Altura de la columna hidráulica compresora. | Volúmen del agua desplazada. | Peso de esta agua. | Términos medios en kilográmetros |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Fin del 11.º segundo... | $-\frac{1000+1000}{2}+\sqrt{1000^2+100000} = +1048,8088 - 1000$ | | | | 515k, | |
| | | 48,8088 | 1048c,8088 | 488088c | 502,730 | 251,132 |
| Fin del 12s. ........ | $-\frac{1000+1100}{2}+\sqrt{1050^2+100000} = +1096,5856 - 1050$ | | | | | |
| | | 46,5856 | 1146,5856 | 465856 | 479,831 | 491,280 |
| Fin del 13s. ........ | $-\frac{1000+1200}{2}+\sqrt{1100^2+100000} = +1144,5523 - 1100$ | | | | | |
| | | 44,5523 | 1244,5523 | 445523 | 458,888 | 469,859 |
| Fin del 14s. ........ | $-\frac{1000+1300}{2}+\sqrt{1150^2+100000} = +1192,6864 - 1150$ | | | | | |
| | | 42,6864 | 1342,6864 | 426864 | 439,670 | 449,279 |
| Fin del 15s. ........ | $-\frac{1000+1400}{2}+\sqrt{1200^2+100000} = +1240,9673 - 1200$ | | | | | |
| | | 40,9673 | 1440,9673 | 409673 | 421,963 | 430,817 |
| Fin del 16s. ........ | $-\frac{1000+1500}{2}+\sqrt{1250^2+100000} = +1289,3796 - 1250$ | | | | | |
| | | 39,3796 | 1539,3796 | 393796 | 405,610 | 413,786 |
| Fin del 17s. ........ | $-\frac{1000+1600}{2}+\sqrt{1300^2+100000} = +1337,9088 - 1300$ | | | | | |
| | | 37,9088 | 1637,9088 | 379088 | 390,461 | 398,036 |
| Fin del 18s. ........ | $-\frac{1000+1700}{2}+\sqrt{1350^2+100000} = +1386,5424 - 1350$ | | | | | |
| | | 36,5424 | 1736,5424 | 365424 | 376,387 | 383,424 |
| Fin del 19s. ........ | $-\frac{1000+1800}{2}+\sqrt{1400^2+100000} = +1435,2700 - 1400$ | | | | | |
| | | 35,2700 | 1835,2700 | 352700 | 363,281 | 369,834 |
| Fin del 20s. ........ | $-\frac{1000+1900}{2}+\sqrt{1450^2+100000} = +1484,0822 - 1450$ | | | | | |
| | | 34,0822 | 1934,0889 | 340822 | 351,047 | 357,164 |
| Fin del 21s. ........ | $-\frac{1000+2000}{2}+\sqrt{1500^2+100000} = +1532,9710 - 1500$ | | | | | |
| | | 32,9710 | 2032,9710 | 329710 | 339,601 | 345,329 |
| Fin del 22s. ........ | $-\frac{1000+2100}{2}+\sqrt{1550^2+100000} = +1581,9292 - 1550$ | | | | | |
| | | 31,9292 | 2131,9292 | 319292 | 328,871 | 334,236 |
| Fin del 23s. ........ | $-\frac{1000+2200}{2}+\sqrt{1600^2+100000} = +1630,9509 - 1600$ | | | | | |
| | | 30,9509 | 2230,9509 | 309509 | 318,794 | 323,837 |
| Fin del 24s. ........ | $-\frac{1000+2300}{2}+\sqrt{1650^2+100000} = +1680,0297 - 1650$ | | | | | |
| | | 30,0297 | 2330,0297 | 300297 | 309,306 | 314,050 |
| Fin del 25s. ........ | $-\frac{1000+2400}{2}+\sqrt{1700^2+100000} = +1729,1616 - 1700$ | | | | | |
| | | 29,1616 | 2429,1616 | 291616 | 300,364 | 304,835 |
| Fin del 26s. ........ | $-\frac{1000+2500}{2}+\sqrt{1750^2+100000} = +1778,3419 - 1750$ | | | | | |
| | | 28,3419 | 2528,3419 | 283419 | 291,922 | 296,143 |
| Fin del 27s. ........ | $-\frac{1000+2600}{2}+\sqrt{1800^2+100000} = +1827,5666 - 1800$ | | | | | |
| | | 27,5666 | 2627,5666 | 275666 | 283,936 | 287,929 |
| Fin del 28s. ........ | $-\frac{1000+2700}{2}+\sqrt{1850^2+100000} = +1876,8324 - 1850$ | | | | | |
| | | 26,8324 | 2726,8324 | 268324 | 276,374 | 280,155 |
| Fin del 29s. ........ | $-\frac{1000+2800}{2}+\sqrt{1900^2+100000} = +1926,1362 - 1900$ | | | | | |
| | | 26,1362 | 2826,1362 | 261362 | 269,203 | 272,788 |
| Fin del 30s. ........ | $-\frac{1000+2900}{2}+\sqrt{1950^2+100000} = +1975,4746 - 1950$ | | | | | |
| | | 25,4746 | 2925,4746 | 254746 | 262,388 | 265,795 |
| Fin de los ½ del segundo 31. | $-\frac{1000+2975}{2}+\sqrt{1987,5^2+100000} = +2012,5000 - 1987,5000$ | | | | | |
| | | 25 | 3000 | 250000 | 257,500 | 194,958 |
| | | | | | | 7237,966 |

cilíndrico la condensacion y el almacenaje al mismo número de atmósferas. En el sistema monocilíndrico guardan relacion comensurable los períodos de condensacion y almacenaje. En el sistema inmergente, no.

## V.

El gran ahorro de esfuerzo que á cada paso se obtiene por el sistema de la inmersion, es debido á lo que voy á designar con el nombre de AUXILIO HIDRÁULICO. Mas en general: auxilio líquido.

El AUXILIO ATMOSFÉRICO es una cantidad constante en la práctica, pero no en absoluto. Mientras en el sistema monocilíndrico baja más y más el piston (suponiendo vertical al cilindro), más y más pesa el aire auxiliador; solo que el aumento de peso es insignificante, y casi inapreciable tratándose de la carrera comun de un piston, que se mueve de arriba para abajo.

Pero en el sistema de la inmersion, á medida que desciende nuestro metro cúbico, crece de un modo sensible y apreciable el AUXILIO HIDRÁULICO. Hasta el momento en que el fondo superior llega á la rasante, solo auxilia para hacerlo descender el peso de la atmósfera; pero, desde la rasante para abajo, obliga á descender al metro cúbico, no solo el auxilio atmosférico, sino tambien la columna de agua que gravita sobre el fondo ó cara superior.

Así, en la *fig.* 194, una columna igual á $a\,b$ obliga (en virtud del principio de PASCAL) á subir el cuerpo inmergido, que supondremos macizo (á la potencia hidráulica se une el peso de la atmósfera); pero, al mismo tiempo, otra columna de agua, igual á $a'\,b'$, fuerza al cuerpo á hundirse (auxiliada tambien por el peso de la atmósfera). Por manera que, solicitado el cuerpo por dos fuerzas contrarias de magnitud desigual, tenderá á subir con una energía igual á la diferencia; y, por consiguiente, por poco que esta diferencia sea contrarestada por una fuerza algo mayor, el cuerpo descenderá.

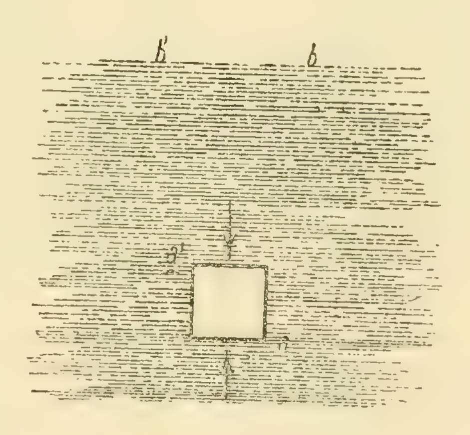


Fig. 194.

Pero, como á medida que descienda el cubo hueco, se encontrará comprimido el aire por fuerzas hidráulicas contrarias, pero más próximas progresivamente, de aquí el que cada vez cueste ménos el hacerlo descender.

La esencia, pues, de lo decreciente en el sistema de la inmersion, consiste en el auxilio hidráulico, esto es, en que cada vez se disminuye la diferencia de altura de las dos columnas antagonistas de líquido, por las cuales se halla el aire aprisionado y comprimido.

# CAPÍTULO III.

## SUSTITUCION DE LA PROFUNDIDAD POR ATMÓSFERAS ARTIFICIALES.

### I.

Si, pues, pudiéramos por un medio distinto del de la profundidad, aprisionar el aire entre fuerzas progresivamente crecientes, habríamos de conseguir lo mismo que se consigue por el auxilio hidráulico, sin los inconvenientes insuperables de profundidades prácticamente imposibles.

Imaginemos varios recipientes, como indica la *fig.* 195, en que las rayas

Fig. 195.

horizontales simbolizan agua. Los números al margen izquierdo indican que cada columna compresora de líquido tiene 10 metros de altura en su máximum. Por consiguiente, el conjunto de ellas produce la misma compresion que una columna de agua marina de $70^{m}$ de profundidad.

En efecto, el aire en *A* está comprimido por la columna de $10^{m}$ del agua del mar, existente en el receptáculo contíguo, la cual ejerce una presion de $8^{atm}$, porque sobre su superficie superior hay aire cuya densidad se eleva á $7^{atm}$. Por análoga razon el aire en *B* está comprimido á $7^{atm}$, el en *C* á 6.....

Así, aumentando el número de estos recipientes, puede llegarse indefinidamente á las más altas compresiones (1).

(1) Hé ahí un medio de construir un manómetro para medir la tension de los gases no solubles en un determinado líquido.

Suponiendo que hubiera 100, la compresion llegaria á $101^{atm}$, etc.

Veamos ahora el modo de utilizar estos aparatos.

Estudiemos el primer recipiente, en el que podemos condensar aire á $2^{atm}$.

El metro cúbico en el que vamos á condensar el aire tendrá la forma de la *fig.* 196 (1).

Y á la varilla que lo haga hundirse estará sujeto de tal modo que pueda girar alrededor de los muñones que se indican en la *fig.* 197.

Esto entendido, el metro cúbico aspirará, condensará y almacenará el aire á 2 atmósferas de la manera indicada en las *figs.* 198, 199 *y* 200.

Fig. 196.

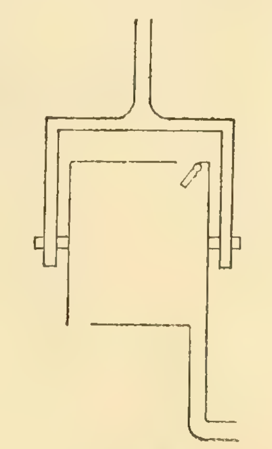


Fig. 197.

Fig. 198.

Fig. 199.

Fig. 200.

(1) De ningun modo podria, como medio definitivo, adoptarse esta forma, ni su modo de funcionar: las presento provisoriamente como recurso de exposicion expeditiva. Véase más adelante.

Si tuviéramos varios de estos recipientes, y en el segundo funcionase, no un metro cúbico, sino un prisma cuya capacidad fuese justamente de $\frac{1}{2}$ metro cúbico, este prisma consumiria tanto aire como condensara el metro cúbico; y, despues de haber descendido el prisma á los $10^{m}$ y pico de profundidad, almacenaría, recondensado, el aire, á $3^{atm}$.

Con tres de estos recipientes, se almacenaría el aire á $4^{atm}$, siempre que el prisma del tercero tuviese la capacidad de $\frac{1}{3}$ de metro cúbico, etc., etc.

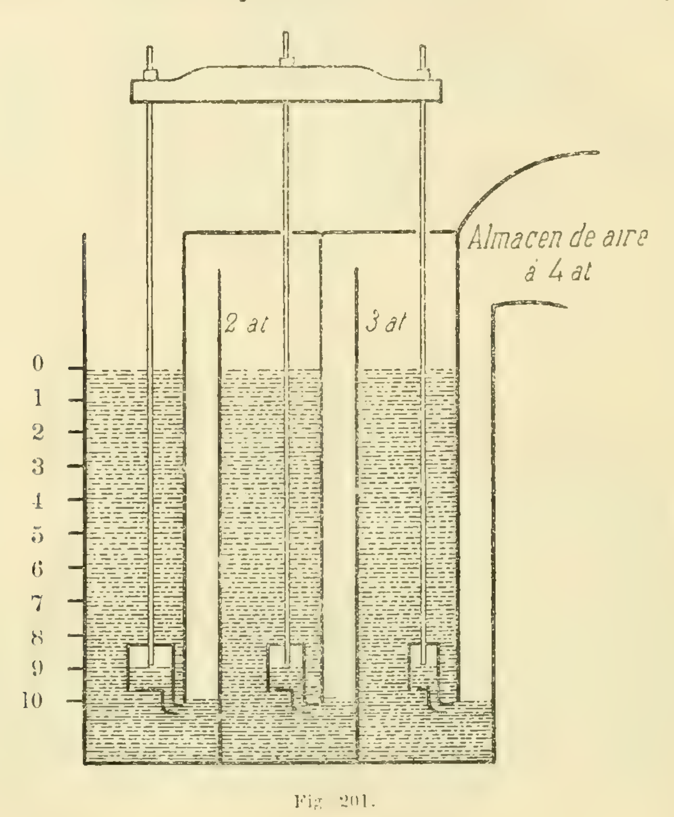
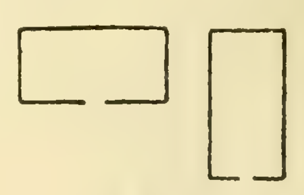



Fig. 201.

## II.

Los prismas pueden sumergirse en dos posiciones principales, como indican las dos figuras siguientes, respectivas al prisma de aire $= \frac{1}{2}$ $m^{3}$ á $2^{at}$.

Caso de hundirse en la posicion de la *fig.* 202, nos es muy fácil saber, por las fórmulas ya calculadas, cuál será la presion interna cuando comprima el aire una columna de agua de altura conocida (ó su equivalente); ó bien qué altura de columna necesitaremos para que la presion sea de un determinado número de atmósferas $> 2$.



Figs. 202 y 203.

Pero, en el caso de descender el prisma en la

posicion de la *fig.* 203, el problema ofrece una variante, no resoluble con una simple transformacion de fórmulas.

Figurémonos, pues, que vamos á comprimir aire á solas 2 atmósferas por medio de 10 recipientes, similares á los estudiados; de modo que

El 1.° toma aire atmosférico, y lo almacena á $1^{atm},1$;
El 2.° toma ese aire á $1^{atm},1$, y lo almacena á $1^{atm},2$;
El 3.° toma el aire á $1^{atm},2$, y lo almacena á $1^{atm},3$;

Y así sucesivamente.

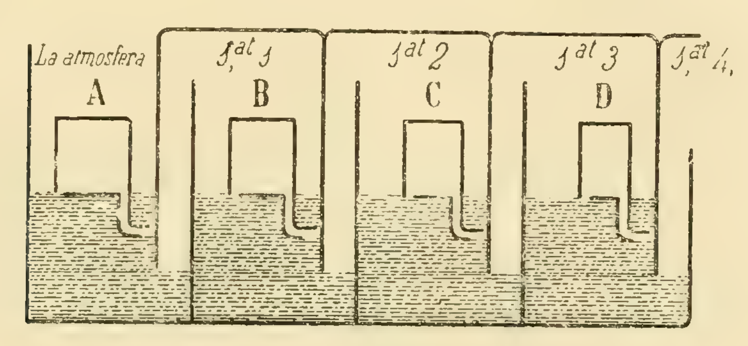



Fig. 204.

Sabemos que desde la posicion INICIAL (nota, cap. I, pág. 416) el metro cúbico $A$ necesita descender en el agua de su recipiente $1^{m} + 9^{c},0909.....$ para que el aire se halle en el interior del cubo á $1^{atm},1$ de densidad (1), y que entonces el gas ocupa en el interior del metro compresor las dimensiones siguientes $((100 \times 100) = \text{base}) \times (\text{altura} = 90^{c},0909.....)$)

El metro cúbico primitivo de aire atmosférico se ha convertido, pues, en un prisma cuyas aristas son $100^{c}$; $100^{c}$; $90^{c},09.....$

Ahora bien: hundamos en el primer recipiente de atmósfera artificial un prisma $B$ en tal posicion, que siempre

la arista $ab = 90^{c},0909.....$ esté horizontal;
la arista $ac = 100^{c}$ esté tambien horizontal;
y la arista $ad = 100^{c}$ esté vertical.

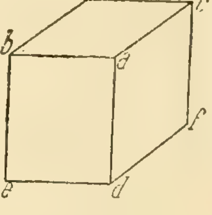



Fig. 205.

Es preciso dar estas dimensiones al prisma $B$, para que no consuma más ni ménos aire que el condensado por el cubo $A$.

El aire que primitivamente habia en el cubo era

$$100^{c} \times 100^{c} \times 100^{c} = 1\ 000\ 000^{c3}$$



(1) Véase cap. I, sec. 1, pág. 418.

Y, como este aire ha sufrido la presion de $\frac{11}{10}$ de atmósfera, habrá reducido su volúmen á $\frac{10}{11}$ de 1 millon; ó, lo que es lo mismo, sus dimensiones serán

$$909090^{c3}09\ldots\ldots = 100^{c} \times 100^{c} \times \left(\left(100^{c} \times \tfrac{10}{11}\right) = 90^{c},0909\ldots\ldots\right)$$

que son precisamente las del prisma $B$.

Ahora bien:

Problema. Si permanecen siempre horizontales las aristas $ab$ y $ac$ (ó bien, vertical la $ad$), ¿hasta qué profundidad por debajo del *nivel libre* habrá de descender el fondo superior $abc$ del prisma $B$ en su respectivo recipiente (cuya atmósfera artificial tiene la densidad de $1^{atm},1$) para que el aire resulte á la densidad de $1^{atm},2$ en el interior del prisma?

Si el prisma fuese macizo, con descender 1 metro hasta que el rectángulo superior $abc$ se pusiese rasante, habria lo suficiente para que el rectángulo inferior $def$ sufriese la presion de $1^{atm},2$ (á saber: $1^{atm},1$ correspondiente á la densidad de la atmósfera artificial, y el otro décimo correspondiente al metro de la carga marina).

Pero, como el prisma está hueco, claro es que habrá entrado en su interior alguna cantidad de agua; por manera que cuando llega á la rasante, la carga ya no es de 1 metro, sino de ménos; por lo cual tenemos que seguir hundiendo al prisma hasta que el nivel en su interior diste del nivel libre 1 metro precisamente.

Ahora bien: cuando el aire esté á la densidad pedida de $1^{atm},2$, será el volúmen

$$\underbrace{\left(100 \times \left(100 \times \tfrac{10}{11}\right)\right)}_{\text{base}} \times \underbrace{(100 - x)}_{\text{altura}} = \tfrac{10}{12} \text{ del volúmen primitivo.} = 1000000^{c3} \times \tfrac{10}{12}$$

De donde

$$\tfrac{1}{11}(100 - x) = 100 \times \tfrac{1}{12};$$

Luego $x =$ al segundo miembro (1);

Luego el fondo superior $abc$ del prisma compresor distará del nivel libre del líquido marino $\frac{100}{12} = 8^{c},33\ldots\ldots$

---

(1) Siempre que existe una ecuacion de la forma

$$\frac{1}{n}(A - x) = \frac{A}{n+1}$$

la incógnita es igual al segundo miembro.

En efecto: si tenemos

$$\frac{1}{n}\left(A - \frac{A}{n+1}\right) = \frac{A}{n+1},$$

vemos que $A$ tiene $n+1$ partes iguales: si de ellas quitamos una, quedarán $n$ partes iguales; y si dividimos ese conjunto de $n$ partes por $n$, resultará por cuociente una sola parte

$$= \frac{A}{n+1}.$$

Recíprocamente, etc.

Luego el prisma $B$ habrá descendido $1^m + 8^c,33.....$ desde su posicion inicial. (Nota, pág. 416.)

Para que el prisma $C$ no consuma más ni ménos de lo preciso, deberá tener el volúmen de

$$1000000^{c^3} \times \tfrac{10}{12} = 100 \times (100 \times (100 \times \tfrac{10}{12}));$$

Y, considerando como base la dimension $(100 \times (100 \times \tfrac{10}{12}))$, que hundiremos siempre horizontalmente, resultará para el volúmen (análogamente á lo anterior)

$$(100 \times (100 \times \tfrac{10}{12})) \times (100 - x) = 1000000^{c^3} \times \tfrac{10}{13};$$

De donde

$$\tfrac{1}{12}(100 - x) = 100 \times \tfrac{1}{13}$$

Y $x = \tfrac{100}{13} = 7^c,69$, que es lo que dista del nivel libre del líquido marino el rectángulo superior horizontal; por consiguiente, desde la posicion inicial ha bajado el prisma $C$, $1^m + 7^c,69.....$

Los prismas sucesivos $D$, $E$, $F$, $G.....$ serán de las dimensiones expresadas en el estado siguiente, y se hundirán, para llegar á la densidad apetecida, lo que expresa la segunda columna respectivamente.

Los prismas todos bajarán manteniendo, por supuesto, paralelas al nivel líquido compresor dos de sus caras rectangulares.

| El prisma de | Se hundirá desde la posicion inicial | Para comprimir |
|---|---|---|
| $100 \times 100 \times 100 = 1000000^{c^3}$ | $1^m + 100 \times \frac{10}{11} = 1^m + 9^c,09090$ | á $1^{at},1$ |
| $100 \times 100 \times \left(100 \times \frac{10}{11}\right) = 909090$ | $1 + 100 \times \frac{10}{12} = 1 + 8,33333$ | á 1 ,2 |
| $100 \times 100 \times \left(100 \times \frac{10}{12}\right) = 833333$ | $1 + 100 \times \frac{10}{13} = 1 + 7,69230$ | á 1 ,3 |
| $100 \times 100 \times \left(100 \times \frac{10}{13}\right) = 769230$ | $1 + 100 \times \frac{10}{14} = 1 + 7,14285$ | á 1 ,4 |
| $100 \times 100 \times \left(100 \times \frac{10}{14}\right) = 714285$ | $1 + 100 \times \frac{10}{15} = 1 + 6,66666$ | á 1 ,5 |
| $100 \times 100 \times \left(100 \times \frac{10}{15}\right) = 666666$ | $1 + 100 \times \frac{10}{16} = 1 + 6,25000$ | á 1 ,6 |
| $100 \times 100 \times \left(100 \times \frac{10}{16}\right) = 625000$ | $1 + 100 \times \frac{10}{17} = 1 + 5,88235$ | á 1 ,7 |
| $100 \times 100 \times \left(100 \times \frac{10}{17}\right) = 588235$ | $1 + 100 \times \frac{10}{18} = 1 + 5,55555$ | á 1 ,8 |
| $100 \times 100 \times \left(100 \times \frac{10}{18}\right) = 555555$ | $1 + 100 \times \frac{10}{19} = 1 + 5,26315$ | á 1 ,9 |
| $100 \times 100 \times \left(100 \times \frac{10}{19}\right) = 526315$ | $1 + 100 \times \frac{10}{20} = 1 + 5$ | á 2 |

Para llegar á las mismas densidades, el metro cúbico tendria que descender habiendo suficiente profundidad,

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| para pasar desde $1^{at}$ | hasta $1^{at},1$; | $1^{m} + 9^{c},0909$ | | |
| 1 ,1 | 1 ,2; | 1 + 7 ,5757 | de $1^{at}$ á 1,2; | $2^{m} + 16^{c},6666$ |
| 1 ,2 | 1 ,3; | 1 + 6 ,4104 | de 1 á 1,3; | 3 + 23 ,0770 |
| 1 ,3 | 1 ,4; | 1 + 5 ,4945 | de 1 á 1,4; | 4 + 28 ,5715 |
| 1 ,4 | 1 ,5; | 1 + 4 ,7618 | de 1 á 1,5; | 5 + 33 ,3333 |
| 1 ,5 | 1 ,6; | 1 + 4 ,1666 | de 1 á 1,6; | 6 + 37 ,5 |
| 1 ,6 | 1 ,7; | 1 + 3 ,6765 | de 1 á 1,7; | 7 + 41 ,1765 |
| 1 ,7 | 1 ,8; | 1 + 3 ,2679 | de 1 á 1,8; | 8 + 44 ,4444 |
| 1 ,8 | 1 ,9; | 1 + 2 ,9241 | de 1 á 1,9; | 9 + 47 ,3685 |
| 1 ,9 | 2 ; | 1 + 2 ,6315 | de 1 á 2 ; | 10 + 50 ,0000 |
| | | $10^{m},50$ | | |

Durante el proceso diferencial de la compresion entra, por consiguiente, el agua marina

| | |
|---|---|
| en el cubo hasta la altura de........ | $9^{c},09$ |
| 1.er prisma .................. | 8 ,33 |
| 2.°........................ | 7 ,69 |
| 3.°........................ | 7 ,14 |
| 4.°........................ | 6 ,67 |
| 5.°........................ | 6 ,25 |
| 6.°........................ | 5 ,88 |
| 7.°........................ | 5 ,55 |
| 8.°........................ | 5 ,26 |
| 9.°........................ | 5 |
| | 66 ,86 |

Y baja cada prisma desde la posicion inicial hasta más abajo de la rasante

| | |
|---|---|
| el cubo........................ | $1^{m}$, 9,09 |
| el 1.er prisma.................. | 1 , 8,33 |
| 2.°........................ | 1 , 7,69 |
| 3.°........................ | 1 , 7,14 |
| 4.°........................ | 1 , 6,67 |
| 5.°........................ | 1 , 6.25 |
| 6.°........................ | 1 , 5,88 |
| 7.°........................ | 1 , 5,55 |
| 8.°........................ | 1 , 5,26 |
| 9.°........................ | 1 , 5,26 |
| | $10^{m},66^{c},86$ |

Como se ve, estas alturas de agua son decrecientes en los prismas sucesivos de las atmósferas artificiales, y además los caminos andados resultan mayores que sus homólogos en el caso del cubo único sumergido en agua marina, de suficiente profundidad para llegar á una compresion de $2^{atm}$. Para estar el aire á $2^{atm}$ en el metro cúbico debe este bajar $10^{m},50$; pero el conjunto de prismas ha de caminar $10^{m},66$.....

Luego veremos que debe ser así; esto es, que los caminos andados han de ser mayores para que resulte (como resulta) igual $\frac{1}{2}^{m^3}$ la cantidad de agua contenida, así en el conjunto de prismas como en el interior del solo metro cúbico descendido á la profundidad suficiente.

Vamos á evaluar el trabajo de condensar aire desde $1^{atm}$ hasta 2 con los prismas escalonados en las atmósferas artificiales anteriormente mencionadas. Tendremos, pues, que distinguir tres casos, como anteriormente:

Trabajo para llegar á la rasante;

Trabajo en la rasante;

Trabajo despues de la rasante.

Empecemos por el caso 2.°, como en el capítulo I.

La fórmula general de su seccion X, pág. 417.

$$x = -\frac{1000 \pm n}{2} + \sqrt{\left(\frac{1000 \pm n}{2}\right)^2 + 100000}$$

necesita una pequeña modificacion para el caso de atmósferas artificiales.

En efecto, tenemos

$$P = \frac{V}{v};$$

pero $P$ es ahora, pág. 206,

$$= \frac{11^{at}}{10} + \frac{x}{1000}.$$

El volúmen, segun las dimensiones lineales del prisma, es

$$= \left((100) \times \left(90{,}9090\ldots.. = 100 \times \frac{10}{11}\right)\right) \times 100;$$

Pero el número de moléculas contenido en él es $\frac{11}{10}$ mayor que el que le correspondería si no estuviese en una atmósfera artificial de $\frac{11}{10}$. Por tanto, habrá que multiplicar el volúmen (correspondiente á las líneas) por $\frac{11}{10}$ para obtener e volúmen de aire, condensado ahora á $1^{atm},1$.

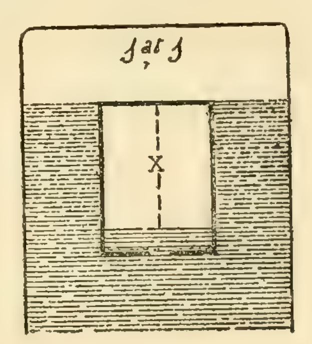



Fig. 206.

Con lo cual la fórmula $P = \frac{V}{v}$ se convierte en

$$\frac{11^{at}}{10} + \frac{x^{at}}{1000} = \frac{\left((100) \times \left(100 \times \frac{10}{11}\right)\right) \times 100}{\left((100) \times \left(100 \times \frac{10}{11}\right)\right) \times x} \times \frac{11}{10}$$

De donde

$$\frac{11}{10} + \frac{x}{1000} = \frac{100}{x} \times \frac{11}{10}$$

$$11 + \frac{x}{100} = \frac{1100}{x}$$

$$x^2 + 1100x = 110000$$

$$x = -550 + \sqrt{550^2 + 110000}$$

En general

$$\frac{10+p}{10} + \frac{x}{1000} = \frac{100}{x} \times \frac{10+p}{10}$$

$$x = -\left(\frac{10+p}{2}\right)100 + \sqrt{\left(\frac{10+p}{2} \times 100\right)^2 + 10000\,(10+p)}$$

Caso 3.°: despues de la rasante. Supongamos que el rectángulo superior ha bajado $nn$ (= $10^c$) en la misma atmósfera artificial de $\frac{11}{10}$ de densidad.

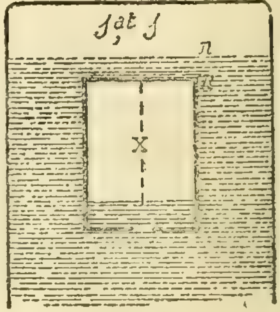


Fig. 207.

$$\text{Presion} = \frac{11}{10} + \frac{x+10}{1000} = \frac{100}{x} \times \frac{11}{10},$$

Luego

$$x = -555 + \sqrt{(555)^2 + 110000}$$

Y en general

$$\frac{10+p}{10} + \frac{x+n}{1000} = \frac{100}{x} \times \frac{10+p}{10}$$

$$x = -\frac{100(10+p)+n}{2} + \sqrt{\left(\frac{100(10+p)+n}{2}\right)^2 + 10000 \times (10+p)}$$

Caso 1.°: antes de la rasante. Supongamos que faltan $90^c = n$ al rectángulo superior para llegar á la rasante, y tendremos:

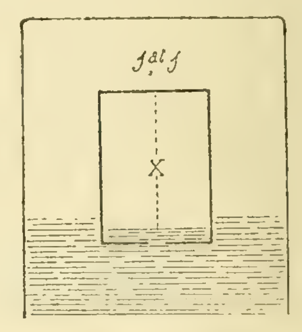


Fig. 208.

$$\text{Presion} = \frac{11^{at}}{10} + \frac{x-90}{1000} = \frac{100}{x} \times \frac{11}{10}$$

Luego (*fig.* 208)

$$x = -505 + \sqrt{(505)^2 + 110000}$$

En general

$$\frac{10+p}{10} + \frac{x-n}{1000} = \frac{100}{x} \times \frac{10+p}{10}$$

$$x = -\frac{100\,(10+p) - n}{2} + \sqrt{\left(\frac{100\,(10+p) - n}{2}\right)^2 + 10000\,(10+p)}$$

Si, pues, $n$ (que puede ser = 0) expresa lo que falta á la cara superior para llegar á la rasante, ó lo que ya ha descendido por debajo del nivel libre del líquido, la ecuacion general de la Seccion X del cap. I, pág. 417 de este Libro, toma la siguiente forma:

$$x = -\frac{100\,(10+p) \pm n}{2} + \sqrt{\left(\frac{100\,(10+p) \pm n}{2}\right)^2 + 10000\,(10+p)},$$

ó bien

$$x = -\frac{1000 + 100p \pm n}{2} + \sqrt{\left(\frac{1000+100p \pm n}{2}\right)^2 + 100000 + 10000p}$$

*Trabajo necesario para que en la atmósfera ambiente primero, y luego en atmósferas artificiales sucesivamente crecientes en $\frac{1}{10}$, lleguen á la rasante un metro cúbico y 9 prismas convenientemente escalonados, con el fin de condensar aire á $2^{atm}$.*

| | Dimensiones. | Altura de la columna hidráulica. | Volúmen del aire y del agua desplazada en el momento de la rasante. | Peso de esta agua. | Kilogramétros. |
|---|---|---|---|---|---|
| El metro cúbico. | $100^c \times 100^c \times 100$ | $-\frac{1000}{2}+\sqrt{500^2\times100000}=591,6079-500=91,6079$ | $100\times100 \times 91,6079=916079^{c.5}$ | $943^k,561$ | $\frac{0+943}{2}$ |
| El prisma 1.º de | $100\times100\times\left(\frac{10}{11}\times100\right)$ | $-\frac{1100}{2}+\sqrt{550^2+110000}=642,2616-550\ \ 92,2616$ | $\left[100\times\left(\frac{10}{11}\times100\right)\right]\times92,2616=838741$ | 863 ,903 | $\frac{0+863}{2}$ |
| 2.º de | $100\times100\times\left(\frac{10}{12}\times100\right)$ | $-\frac{1200}{2}+\sqrt{600^2+120000}=692,8203-600=92,8203$ | $\left[100\times\left(\frac{10}{12}\times100\right)\right]\times92,8203=733499$ | 796 ,704 | $\frac{0+796}{2}$ |
| 3.º de | $100\times100\times\left(\frac{10}{13}\times100\right)$ | $-\frac{1300}{2}+\sqrt{650^2+130000}=743,3033-650=93,3033$ | $\left[100\times\left(\frac{10}{13}\times100\right)\right]\times93,3033=717715$ | 739 ,246 | $\frac{0+739}{2}$ |
| 4.º de | $100\times100\times\left(\frac{10}{14}\times100\right)$ | $-\frac{1400}{2}+\sqrt{700^2+140000}=793,7253-700\ \ 93,7253$ | $\left[100\times\left(\frac{10}{14}\times100\right)\right]\times93,7253=669459$ | 689 ,543 | $\frac{0+689}{2}$ |
| 5.º de | $100\times100\times\left(\frac{10}{15}\times100\right)$ | $-\frac{1500}{2}+\sqrt{750^2+150000}=844,0980-750=94,0980$ | $\left[100\times\left(\frac{10}{15}\times100\right)\right]\times94,0980=627314$ | 646 ,133 | $\frac{0+646}{2}$ |
| 6.º de | $100\times100\times\left(\frac{10}{16}\times100\right)$ | $-\frac{1600}{2}+\sqrt{800^2+160000}=894,4271-800\ \ 94,4271$ | $\left[100\times\left(\frac{10}{16}\times100\right)\right]\times94,4271=590169$ | 607 ,874 | $\frac{0+607}{2}$ |
| 7.º de | $100\times100\times\left(\frac{10}{17}\times100\right)$ | $-\frac{1700}{2}+\sqrt{850^2+170000}=944,7221-850\ \ 94,7221$ | $\left[100\times\left(\frac{10}{17}\times100\right)\right]\times94,7221\ \ 557155$ | 573 ,870 | $\frac{0+573}{2}$ |
| 8.º de | $100\times100\times\left(\frac{10}{18}\times100\right)$ | $-\frac{1800}{2}+\sqrt{900^2+180000}=995\ \ -900=95.$ | $\left[100\times\left(\frac{10}{18}\times100\right)\right]\times95\ \ 527725$ | 513 ,557 | $\frac{0+543}{2}$ |
| 9.º de | $100\times100\times\left(\frac{10}{19}\times100\right)$ | $-\frac{1900}{2}+\sqrt{950^2+190000}=1045,2272-950=95,2272$ | $\left[100\times\left(\frac{10}{19}\times100\right)\right]\times95,2272=501196$ | 516 ,232 | $\frac{0+516}{2}$ |

*Trabajo desde la rasante hasta el máximum en cada prisma con las condiciones del estado anterior.*

| | Descenso de cada prisma. | Volúmen del agua desplazada. *Altura.* | *Base.* | *Total.* | Peso de esta agua, $D=1{,}030$. | Términos medios del peso movido desde la rasante hasta el momento del máximum. | Kilográmetros durante las fracciones de segundo que se expresan á continuacion. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| El cubo para condensar á $1^{at},1$ desciende, además de $1^{m}$.......... | $9^{c},09091$ | $90{,}9091\times$ | $\left[100\times 100\right]$ | $=909091^{c^3}$ | $936^{k},364$ | $\frac{943{,}531+936{,}364}{2}=939^{k},963$ | $939{,}963\times\frac{9{,}091}{100}=85{,}452$ |
| Además del metro, | | | | | | | |
| El prisma 1.º desciende para $1^{at}.2$. | 8 ,33333 | $91{,}6667\times$ | $\left[100\times\left(\frac{10}{11}\times 100\right)\right]$ | $=833333$ | 858 ,333 | $\frac{863{,}903+858{,}333}{2}=861{,}118$ | $861{,}118\times\frac{8{,}333}{100}=71{,}757$ |
| 2.º para 1 ,3. | 7 ,69230 | $92{,}3077\times$ | $\left[100\times\left(\frac{10}{12}\times 100\right)\right]$ | $=769230$ | 792 ,307 | $\frac{796{,}704+792{,}307}{2}=794{,}505$ | $794{,}505\times\frac{7{,}692}{100}=61{,}113$ |
| 3.º para 1 ,4. | 7 ,14285 | $92{,}8572\times$ | $\left[100\times\left(\frac{10}{13}\times 100\right)\right]$ | $=714285$ | 735 ,714 | $\frac{739{,}246+735{,}714}{2}=737{,}480$ | $737{,}480\times\frac{7{,}143}{100}=52{,}678$ |
| 4.º para 1 ,5. | 6 ,66666 | $93{,}3333\times$ | $\left[100\times\left(\frac{10}{14}\times 100\right)\right]$ | $=666666$ | 686 ,666 | $\frac{689{,}543+686{,}666}{2}=688{,}104$ | $688{,}104\times\frac{6{,}667}{100}=45{,}875$ |
| 5.º para 1 ,6. | 6 ,25 | $93{,}75\times$ | $\left[100\times\left(\frac{10}{15}\times 100\right)\right]$ | $=625000$ | 643 ,750 | $\frac{646{,}133+643{,}750}{2}=644{,}941$ | $644{,}941\times\frac{6{,}250}{100}=40{,}309$ |
| 6.º para 1 ,7. | 5 ,88235 | $94{,}1176\times$ | $\left[100\times\left(\frac{10}{16}\times 100\right)\right]$ | $=588235$ | 605 ,882 | $\frac{607{,}874+605{,}882}{2}=606{,}878$ | $606{,}878\times\frac{5{,}882}{100}=35{,}697$ |
| 7.º para 1 ,8. | 5 ,55555 | $94{,}4444\times$ | $\left[100\times\left(\frac{10}{17}\times 100\right)\right]$ | $=555555$ | 572 ,221 | $\frac{573{,}870+572{,}221}{2}=573{,}045$ | $573{,}045\times\frac{5{,}555}{100}=31{,}833$ |
| 8.º para 1 ,9. | 5 ,26315 | $94{,}7368\times$ | $\left[100\times\left(\frac{10}{18}\times 100\right)\right]$ | $=526315$ | 542 ,104 | $\frac{543{,}557+542{,}104}{2}=542{,}830$ | $542{,}830\times\frac{5{,}263}{100}=28{,}589$ |
| 9.º para 2.... | 5 | $95\times$ | $\left[100\times\left(\frac{10}{19}\times 100\right)\right]$ | $=500000$ | 515 | $\frac{516{,}232+515}{2}=515{,}616$ | $515{,}616\times 5=25{,}781$ |

*Trabajo necesario para el almacenaje del aire comprimido por el cubo y los prismas.*

| | Términos medios del peso movido desde el momento de empezar á almacenar hasta el fin en que la resistencia es cero. | Kilográmetros durante las fracciones de segundo que se expresan. |
|---|---|---|
| Cubo....... | $\frac{936,364 + 0}{2} = 468,182$ | $468,182 \times \frac{90,9091}{100} = 425,620$ |
| Prisma 1.º.. | $\frac{858,333 + 0}{2} = 429,166$ | $429,116 \times \frac{91,6666}{100} = 393,400$ |
| 2.º.. | $\frac{792{\cdot}307 + 0}{2} = 396,153$ | $396,153 \times \frac{92,3077}{100} = 365,680$ |
| 3.º.. | $\frac{735,714 + 0}{2} = 367,857$ | $367,857 \times \frac{92,8572}{100} = 341,581$ |
| 4.º.. | $\frac{686,666 + 0}{2} = 343,333$ | $343,333 \times \frac{93,3333}{100} = 320,433$ |
| 5.º.. | $\frac{643,750 + 0}{2} = 321,875$ | $321,875 \times \frac{93,7500}{100} = 301,758$ |
| 6.º.. | $\frac{605,882 + 0}{2} = 302,941$ | $302,941 \times \frac{94,1176}{100} = 285,121$ |
| 7.º.. | $\frac{572,221 + 0}{2} = 286,110$ | $286,110 \times \frac{94,4444}{100} = 270,213$ |
| 8.º.. | $\frac{542,104 + 0}{2} = 271,052$ | $271,052 \times \frac{94,7368}{100} = 256,786$ |
| 9.º.. | $\frac{515 + 0}{2} = 257,500$ | $257,500 \times \frac{95}{100} = 244,625$ |

## RESUMEN

*del trabajo necesario para comprimir aire y almacenarlo en el sistema de la inmersion por medio de 1 metro cúbico y 9 prismas en atmósferas sucesivas cuya presion aumente $\frac{1}{10}$ de atmósfera.*

| | Kilográmetros hasta la rasante. | Kilográmetros desde la rasante hasta la compresion máxima. | Kilográmetros desde la compresion al término del almacenaje. | Total de kilográmetros. |
|---|---|---|---|---|
| Cubo....... | 470 | 85,452 | 425,620 | 981,072 |
| Prisma 1.º.. | 431 | 71,757 | 393,400 | 896,157 |
| 2.º.. | 398 | 61,113 | 365,680 | 824,793 |
| 3.º.. | 369 | 52,678 | 341,581 | 763,259 |
| 4.º.. | 344 | 45,875 | 320,433 | 710,308 |
| 5.º.. | 323 | 40,309 | 301,758 | 665,067 |
| 6.º.. | 303 | 35,697 | 285,121 | 623,818 |
| 7.º.. | 286 | 31,833 | 270,213 | 588,046 |
| 8.º.. | 271 | 28,589 | 256,786 | 556,375 |
| 9.º.. | 258 | 25,781 | 244,625 | 528,406 |
| | 3453 | 479,084 | 3205,217 | 7137,301 |

III.

El resultado de este resúmen, como se ve, es igual al del de la pág. 420 (1). Lo mismo es, pues, comprimir aire por el sistema de la inmersion en una profundidad de agua de 10 metros y pico, que en 9 atmósferas artificiales, como acabamos de estudiar.

La generalizacion de este importante sistema de inmersiones sucesivas en atmósferas progresivamente crecientes segun los términos analizados, nos hace ver que es posible llegar á las más considerables compresiones, sin necesidad de recurrir á profundidades imposibles.

IV.

Pero, si las inmersiones de prismas convenientemente escalonados en atmósferas artificiales preparadas al efecto, suple y reemplaza ventajosamente al sistema de la inmersion en toda clase de profundidades, hay que llevar en cuenta que la compresion no se hace de la misma manera en un caso que en otro.

Si una barra horizontal hunde simultáneamente todos los vástagos de los 10 prismas escalonados (incluyendo al primer recipiente, que es un metro cúbico); y si esa barra emplea en hacerlos bajar á la rasante un segundo, empleará mucho ménos en hacerlos llegar hasta el máximo de compresion, y en seguida almacenar, como la barra descienda con velocidad uniforme.

Pues por el sistema de la inmersion en profundidad suficiente para que el metro cúbico comprima aire á $2^{atm}$ y lo almacene, se invierte en bajar á la rasante 1 segundo, y 10 en acabar la compresion, y almacenar.

Unicamente hay conformidad en ser igual á $\frac{1}{2}$ metro cúbico el volúmen del agua dentro del compresor único; y de los prismas escalonados cuando llega la condensacion del aire á $2^{atm}$: pero el solo metro cúbico desciende bajo la rasante, ó sea el nivel libre, á la profundidad de $10\frac{1}{3}$ metros en agua cuya densidad iguale á 1,030; y el metro y cada uno de los 9 prismas, conforme antes hemos visto, desciende por debajo del nivel libre unos cuantos centímetros solamente.

En efecto, véase el siguiente *estado.*

---

(1) La diferencia entre $7140^{kgrm}$ y 7137, depende de no haber hecho yo los cálculos con toda aproximacion y escrupulosidad.

CANTIDAD DE AGUA QUE HAY DENTRO DEL METRO CÚBICO ÚNICO.

| Cuando la densidad pasa desde | Volúmen del agua introducida desde una posicion á otra. |
|---|---|
| | *Base.* × *Altura.* |
| $1^{at}$ á 1,1 | $10000^{c^2} \times 9^c,0909 = 90909^{c^3}$ |
| 1,1 á 1,2 | $10000 \times 7,5757 = 75757$ |
| 1,2 á 1,3 | $10000 \times 6,4104 = 64104$ |
| 1,3 á 1,4 | $10000 \times 5,4945 = 54945$ |
| 1,4 á 1,5 | $10000 \times 4,7618 = 47618$ |
| 1,5 á 1,6 | $10000 \times 4,1666 = 41666$ |
| 1,6 á 1,7 | $10000 \times 3,6765 = 36765$ |
| 1,7 á 1,8 | $10000 \times 3,2679 = 32679$ |
| 1,8 á 1,9 | $10000 \times 2.9241 = 29241$ |
| 1,9 á $2^{at}$ | $10000 \times 2,6315 = 26315$ |
| *Total del agua entrada cuando la densidad del aire iguala á $2^{at}$.* | $0^m,499990$ |

CANTIDAD DE AGUA QUE HAY EN LOS PRISMAS DE LAS ATMÓSFERAS ARTIFICIALES

| Cuando la densidad pasa desde | Volúmen del agua introducida en cada prisma cuando el aire de la respectiva atmósfera artificial está listo para ser almacenado. | |
|---|---|---|
| $1^{at}$ á 1,1 | Base $= (100 \times 100) \times \left(100 \times \frac{1}{11}\right) =$ | $90909^{c^3}$ |
| 1,1 á 1,2 | $\left(100 \times \left(100 \times \frac{10}{11}\right)\right) \times \left(100 \times \frac{1}{12}\right) =$ | 75757 |
| 1,2 á 1,3 | $\left(100 \times \left(100 \times \frac{10}{12}\right)\right) \times \left(100 \times \frac{1}{13}\right) =$ | 64104 |
| 1,3 á 1,4 | $\left(100 \times \left(100 \times \frac{10}{13}\right)\right) \times \left(100 \times \frac{1}{14}\right) =$ | 54945 |
| 1,4 á 1,5 | $\left(100 \times \left(100 \times \frac{10}{14}\right)\right) \times \left(100 \times \frac{1}{15}\right) =$ | 47618 |
| 1,5 á 1,6 | $\left(100 \times \left(100 \times \frac{10}{15}\right)\right) \times \left(100 \times \frac{1}{16}\right) =$ | 41666 |
| 1,6 á 1,7 | $\left(100 \times \left(100 \times \frac{10}{16}\right)\right) \times \left(100 \times \frac{1}{17}\right) =$ | 36765 |
| 1,7 á 1,8 | $\left(100 \times \left(100 \times \frac{10}{17}\right)\right) \times \left(100 \times \frac{1}{18}\right) =$ | 32679 |
| 1,8 á 1,9 | $\left(100 \times \left(100 \times \frac{10}{18}\right)\right) \times \left(100 \times \frac{1}{19}\right) =$ | 29241 |
| 1,9 á $2^{at}$ | $\left(100 \times \left(100 \times \frac{10}{19}\right)\right) \times \left(100 \times \frac{1}{20}\right) =$ | 26315 |
| *Total de la suma del agua entrada en cada uno de los prismas cuando el aire está listo para ser almacenado.....* | | $0^m,499999$ |

Si en las atmósferas artificiales se colocasen los prismas

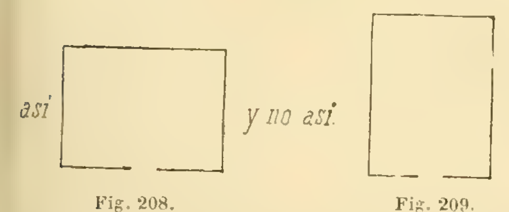



Fig. 208. Fig. 209.

las cantidades de agua entradas en cada prisma colocado como el 208, serían en cada atmósfera artificial, exactamente iguales á las entradas en profundidad indefinida para obtener la misma densidad.

Los caminos serían tambien iguales. En profundidad indefinida, necesita el metro cúbico único para pasar de $1^{at}$,1 á $1^{at}$,2 descender 1 metro $7^c$,5757; y el prisma de la primera atmósfera artificial necesitaria, en la situacion de las *figs.* 208 *y* 210, andar tambien desde la posicion inicial (nota, cap. I. pág. 216) hasta la rasante $1^m$, y desde la rasante hasta el momento de empezar el almacenaje $7^c$,5757, etc.

Como se ve, el total de centímetros cúbicos es el mismo en las atmósferas artificiales que en profundidad indefinida. Y es muy fácil formarse intuicion ó VORSTELLUNG del PORQUÉ.

Despues que en el metro cúbico se condensa el aire á $1^{at}$,1, queda en él un prisma gaseoso *abcd*, segun marca la *fig.* 210.

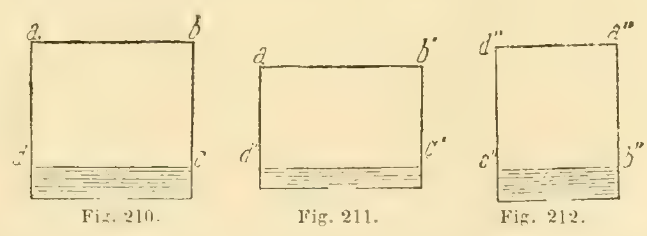



Fig. 210. Fig. 211. Fig. 212.

Este prisma en agua indefinida entra en la posicion de la *fig.* 211; pero en las atmósferas artificiales de que habla esta columna entra en la posicion del prisma *fig.* 212. (Véase pág. 430.)

Tanto en agua indefinida, como en la primera atmósfera artificial, queda el millon de centímetros cúbicos, cuando la presion es de $1^{at}$,2, reducido al volúmen de $833333^{c^3}$; pero en agua indefinida el anterior prisma aéreo *abcd* toma la forma *a'b'c'd'*, mientras que en la atmósfera artificial toma la forma *a''b''c''d''*; de modo que Vol. *a'b'c'd'*=Vol. *a''b''c''d''*.

Y de aquí que el camino que, en profundidad indefinida, deba bajar el cubo único sea diferente del que tiene que descender el primer prisma en su atmósfera artificial. En efecto:

el metro baja $7^c$,5757, y el prisma $8^c$,3333;

lo cual tiene que ser para que los volúmenes de agua resulten iguales:

(base cúbica $100 \times 100) \times$ (altura $7^c$,57) = 75757;

(base prism. $100 \times 90,90) \times$ (altura 8,33) = 75757, etc.

Sumando la cantidad de agua existente en el primer prisma en el momento justo de empezar el almacenaje, con las cantidades existentes en los otros nueve prismas cuando en cada uno de ellos estaba ya el aire listo para ser almacenado, nos resulta efectivamente ½ metro cúbico en volúmen; pero ya no aparecerá sorprendente que en este sistema, aun cuando todos los diez prismas bajen á la par, no comience, sin embargo, simultáneamente el almacenaje ni en todos ni en parte de ellos, por ser diferentes los caminos.

El aire en el último de los prismas (esto es, en el menor) está en disposicion de ser almacenado antes que en el penúltimo, y antes aún que en el antepenúltimo....., y mucho antes que en el metro cúbico primario.

## V.

No puedo, sin embargo, terminar este Capítulo omitiendo alguna explanacion respecto al caso en que, no interesándonos la determinacion exacta del trabajo invertido en la compresion, necesitáramos expeditivamente averiguar la distancia desde el nivel interno del líquido en el compresor hasta el nivel libre ó externo del líquido comprimente.

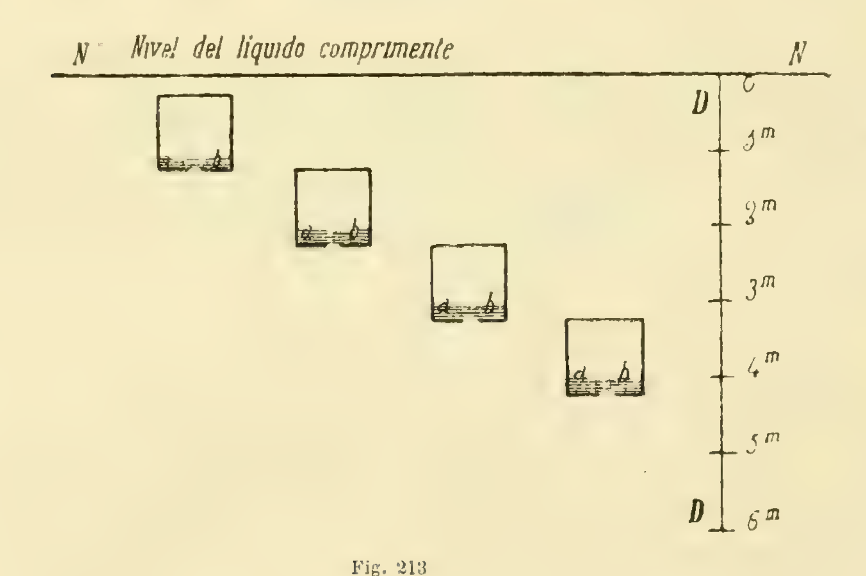



Fig. 213

Por ser diferencial el movimiento, la línea *ab* del nivel interno, aunque siempre ascendente dentro de un compresor en el sistema inmergente, se aleja cada vez más del nivel libre *NN* del líquido que verifica la compresion; y es de toda evidencia que, á medida que adelanta el proceso de la condensacion, esa línea *ab*, aunque ascendente, recorre, descendiendo, todos los puntos de la distancia *DD*.

Solo cuando llega el período del almacenaje es cuando la línea *ab* permanece á distancia invariable de *NN*.

Ahora bien:

Se pregunta, ¿qué cantidad de agua ha entrado en el compresor cuando la línea *ab* del nivel interno está en tal punto de la distancia *DD*?

Supongamos el caso siguiente:

Si, en agua marina, *ab* dista 5[m] de *NN*, tendremos:

$$\text{Presion, } 1^{\text{at}} + \frac{5}{10};$$

$$\text{Espacio con aire} = \text{Volúmen} \times \frac{10}{15} = \frac{2}{3}\,V;$$

$$\text{Espacio con agua} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \frac{1}{3}\,V.$$

De esta manera formaríamos el estado siguiente:

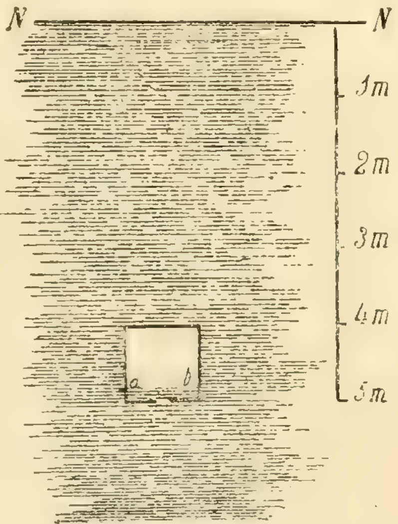



Fig. 214.

| Cuando *ab* dista de *NN*. | Presion. | Espacio con aire. | Espacio con agua. | El borde inferior del compresor ha bajado. |
|---|---|---|---|---|
| 1[m] | $1\frac{1}{10}$ | $\frac{10}{11}$ | $\frac{1}{11}$ | $1^{\text{m}} + \frac{1}{11}$ |
| 2 | $1\frac{2}{10}$ | $\frac{10}{12}$ | $\frac{2}{12}$ | $2 + \frac{2}{12}$ |
| 3 | $1\frac{3}{10}$ | $\frac{10}{13}$ | $\frac{3}{13}$ | $3 + \frac{3}{13}$ |
| 4 | $1\frac{4}{10}$ | $\frac{10}{14}$ | $\frac{4}{14}$ | $4 + \frac{4}{14}$ |
| 5 | $1\frac{5}{10}$ | $\frac{10}{15}$ | $\frac{5}{15}$ | $5 + \frac{5}{15}$ |
| 6 | $1\frac{6}{10}$ | $\frac{10}{16}$ | $\frac{6}{16}$ | $6 + \frac{6}{16}$ |
| 7 | $1\frac{7}{10}$ | $\frac{10}{17}$ | $\frac{7}{17}$ | $7 + \frac{7}{17}$ |
| 8 | $1\frac{8}{10}$ | $\frac{10}{18}$ | $\frac{8}{18}$ | $8 + \frac{8}{18}$ |
| 9 | $1\frac{9}{10}$ | $\frac{10}{19}$ | $\frac{9}{19}$ | $9 + \frac{9}{19}$ |
| 10 | $1\frac{10}{10}$ | $\frac{10}{20}$ | $\frac{10}{20}$ | $10 + \frac{10}{20}$ |

Lo anterior nos proporciona un medio de saber la altura del nivel *ab* interno, aun cuando no sea transparente el compresor, que supondremos $=$ á 1 metro cúbico.

Pintemos en una de sus aristas, empezando á contar desde abajo, una marca á los

$$\tfrac{1}{11} \text{ de } 1 \text{ metro} = 9^c,09.$$

Pues cuando esta marca diste $1^m$ del nivel libre *NN*, distará tambien $1^m$ de su nivel externo el nivel interno *ab*.

Señalemos en la misma arista otra segunda marca á una distancia de la base inferior $= \tfrac{2}{12}$ de $1^m = 16^c,66$. Cuando esta marca diste $2^m$ de *NN*, igualmente distará $2^m$ el nivel interno *ab*, del externo *NN*.

Y así sucesivamente, si pintamos marcas á las distancias del borde inferior hácia arriba iguales á

$$\frac{3}{13} \text{ de } 1^m = 23^c,07;$$
$$\frac{4}{14} \text{ de } 1 = 28,57;$$
$$\frac{5}{15} \text{ de } 1 = 33,33;$$
$$\frac{6}{16} \text{ de } 1 = 37,50;$$
$$\frac{7}{17} \text{ de } 1 = 41,17;$$
$$\frac{8}{18} \text{ de } 1 = 44,44;$$
$$\frac{9}{19} \text{ de } 1 = 47,36;$$
$$\frac{10}{20} \text{ de } 1 = 50.$$

Y esto es cierto para cualquier compresor no cúbico, cuyas reducciones de volúmen debamos señalar por medio de marcas exteriores.

Sea un prisma de

$$2^m \times 1^m \times \frac{1^m}{2} = 1^{m3},$$

$$\text{cuya base será} = \frac{1}{2}{}^{m2}.$$

Y tendremos, como antes, si el prisma desciende segun indica la *fig.* 215, cuando el nivel interno *ab* diste $1^m$ del nivel libre comprimente *NN*,

$$\text{Presion interior} = 1^{at} + \frac{1}{10};$$

$$\text{Espacio con aire} = \frac{10}{11} V;$$

$$\text{Espacio con agua} = \frac{1}{11} V.$$

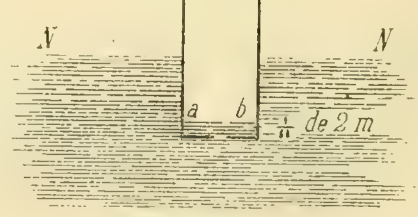



Fig. 215.

Análogamente: cuando *ab* diste $2^m$ de $NN$, tendremos

$$\text{Presion en el interior} = 1^{at} + \frac{2}{10};$$

$$\text{Espacio con aire} \ldots\ldots = \frac{10}{12} V;$$

$$\text{Espacio con agua} \ldots\ldots = \frac{2}{12} V, \text{ etc., etc.}$$

Lo mismo ocurriria si el prisma descendiese en esta posicion, etc.

Si, pues, pusiéramos marcas externas en los compresores prismáticos del sistema inmergente, á las indicadas distancias de

$$\frac{1}{11}, \frac{2}{12}, \frac{3}{13}, \frac{4}{14} \ldots\ldots$$

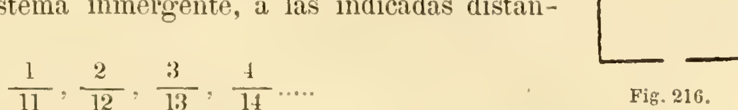


Fig. 216.

(ó partes correspondientes de estas fracciones); y si durante la inmersion conservasen los compresores paralelas dos de sus caras al nivel libre del agua marina, ó bien, si las marcas se pintasen á las distancias que correspondiesen en azogue ú otro líquido, tendríamos el medio de saber, sin necesidad de ver el interior del compresor, á qué distancias se encontraba el nivel interno *ab* del nivel libre $NN$ del líquido comprimente.

Y lo mismo nos sucederia si pusiéramos las marcas oportunas cuando el compresor, en vez de ser un prisma, tuviese una forma cualquiera; ó bien descendiese, siendo prismático, sin colocar paralelamente al horizonte ninguna de sus caras.

## VI.

¿Podrá utilizarse este sistema de la inmersion?

¿Qué medios serán los más convenientes, puesto que á la pág. 425 se dice que los allí expuestos eran solo recursos de exposicion expeditiva?

Para responder á estas preguntas es necesario entrar en grandes detalles y discusiones, que se encontrarán en los capítulos inmediatos.

Cuando tengamos los conocimientos necesarios resultará dada la contestacion debida.

# APÉNDICES AL LIBRO II.

## I.

En una nota de la pág. 424, dije que podia hacerse un manómetro utilizando las propiedades allí estudiadas. Y como me parezcan de algun interés, no los resultados prácticos, pero sí los principios que debieran tenerse en cuenta para la realizacion, paso á exponerlos con la brevedad posible.

El conocido manómetro de aire comprimido presenta un gravísimo inconveniente cuando se aplica á la medida de muy altas tensiones: y es que un aumento ó una disminucion de $\frac{1}{3}$, de $\frac{1}{2}$, y hasta de 1 atmósfera, produce tan pequeñas variaciones en la longitud de la columna de mercurio que, sin cuidadosa atencion, pasan sin notarse.

Paréceme, pues, que podrian hacerse perceptibles tales cambios, construyendo un manómetro de grandes dimensiones, y empleando en varios recipientes escalonados, el aire comprimido.

Para medir una tension de pocas atmósferas pudiera ser invariable la cantidad de aire entre un recipiente y el inmediato; pero, para muchas atmósferas, y tratándose de grandes generadores de aire comprimido, sería lo mejor, por varios conceptos, y con especialidad para facilitar la lectura de las indicaciones del aparato, dejar salir cortas cantidades de aire comprimido, cuando descendiese la tension en el almacen ó en los compresores.

Para reducir á un mínimo ese escape de gas (insignificante dada una gran produccion), se procederia como sigue:

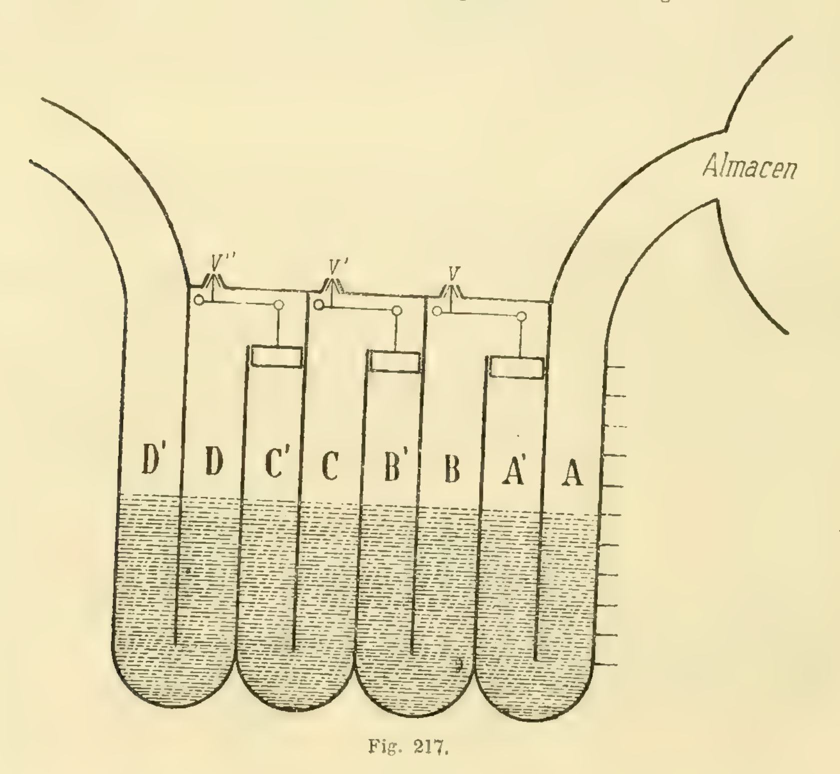



Fig. 217.

1.º El aparato constaria de tubos, todos iguales, como marca la *fig.* 217.

2.º Habria un flotador en cada compartimiento.

3.º Cada flotador, guiado correspondientemente (por órganos no dibujados), pondria en movimiento la espiga de una pequeñísima válvula $v$, $v'$,$v''$,.... de caoutchouc, para cerrar un orificio de salida existente en cada compartimiento. El área de estos orificios sería de 1 ó 2 milímetros cuadrados. Un ligero pescante (no dibujado) sostendria cada flotador cuando no llegase hasta él el líquido que lo hubiese de levantar.

**Modo de funcionar el aparato.**

Para mayor facilidad, supongo igual á 10 metros el desnivel máximo que puede tomar el agua marina en cada compartimiento.

1.º No siendo superior á la tension normal del aire libre la del gas en el almacen, el líquido en cada compartimiento tendria 5 metros de altura; ó, lo que es lo mismo, todos estarian al mismo nivel.

2.º Supongamos que en el almacen hay una tension, variable, pero siempre superior á $1^{at}$ é inferior á 2. Entonces el líquido se desequilibraria en $A$ y $A'$, tomando una posicion tal como la de la *fig.* 218. Y la diferencia de niveles variaria en $A$ y $A'$ con las diferencias de tension en el almacen. Las ramas $B$ y $B'$, $C$ y $C'$..... quedarian estacionarias (*fig.* 217).

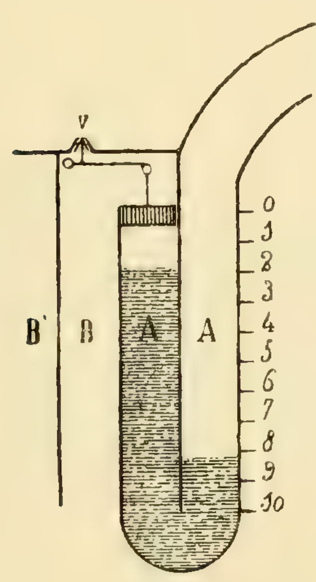


Fig. 218.

3.º Si la tension llegase á 2 atmósferas, el agua en $A'$ suspenderia el flotador y cerraria la válvula $v$. Si luego la tension disminuyese, bajaria el agua en $A'$ y con ella el flotador, resultando abierta nuevamente la válvula $v$.

4.º Hagamos ahora una nueva suposicion. La tension varía en el almacen entre más de $2^{at}$ y ménos de 3.

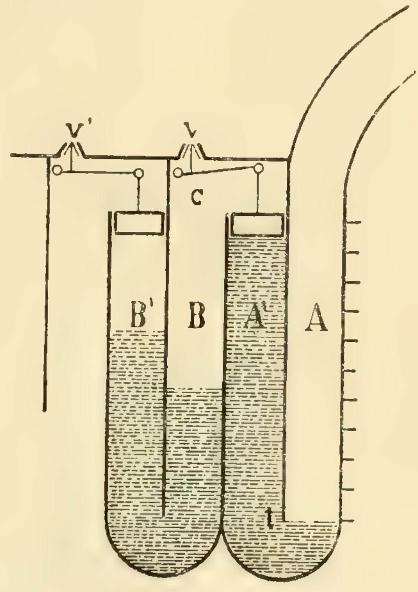


Fig. 219.

En cuanto la tension llega á $2^{at}$, el agua en $A'$ levanta el flotador y cierra la válvula $v$.

Y, como por hipótesis, el aire tiene en el almacen una tension superior á $2^{at}$, necesariamente pasará el gas por debajo del tabique $t$. Y, aumentando la tension en la cúpula $c$, se desquilibrarán las ramas $B$ y $B'$, tomando una posicion tal como la *fig.* 219 marca.

Y si entonces disminuyese la tension,

Subiria el nivel en $A$,

Bajaria el de $A'$,

Descenderia su flotador,

Se abriria la válvula $v$,

Se escaparia una pequeña cantidad de aire,

Subiria el nivel en $B$,

Bajaria en $B'$;

Y, si la tension en el almacen volviese á ser mayor que las resistencias,

Bajaria de nuevo $A$ hasta la altura del tabique $t$,

Subiria $A'$,

Ascenderia el flotador,

Y volveria á cerrarse el orificio $v$.

5.º Si todavía disminuyese la tension por

debajo de 2 atmósferas, quedarian á un mismo nivel las ramas $B$ y $B'$, y se repetirian los fenómenos de antes.

6.° Si la tension se elevara á 3 atmósferas, ó pasase, sin llegar á 4, tendríamos fenómenos análogos; pues, á causa del exceso de presion, el aire pasaria por debajo de los tabiques $t$ y $t'$, por poco que la tension fuese superior á 3^at: todo como indica la *fig.* 220.

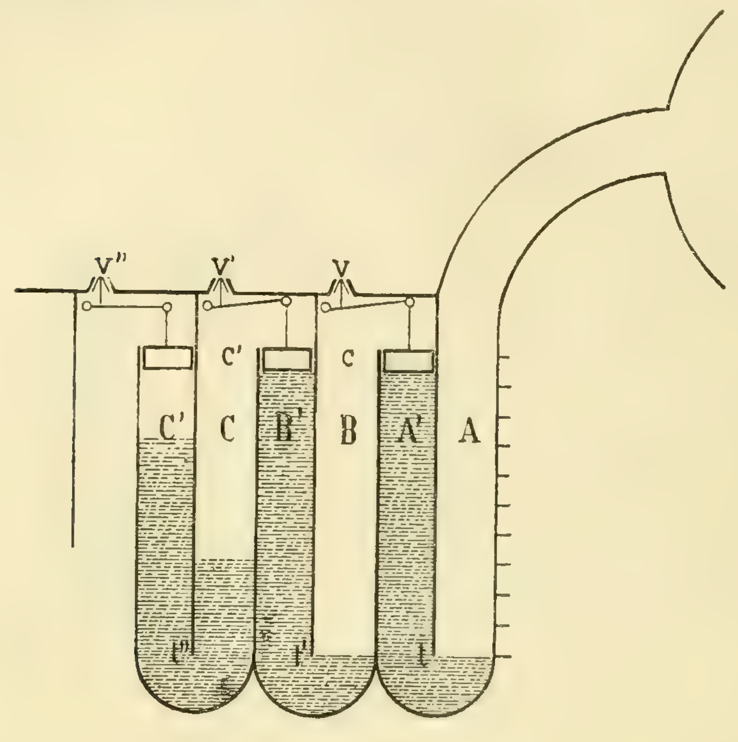



Fig. 220.

Y, si la tension disminuyera en el almacen,
Subiria el nivel en $A$.
Bajaria en $A'$,
Descenderia su flotador,
Se abriria $v$,
Se escaparia desde $c$ un poco de aire,
Subiria el nivel en $B$,
Bajaria en $B'$,
Descenderia el flotador en $B'$ y se abriria $v'$,
Saldria de $c'$ un poco de aire,
Subiria $C$,
Bajaria $C'$,
Y, en el acto casi, siendo superior la tension en el almacen, volveria á bajar $A$, á subir $A'$, á cerrarse $v'$, etc.

Claro es que, en vez de agua, puede usarse cualquier otro líquido; mercurio, por ejemplo, que sería lo natural por mil razones.

Obvio es tambien que el número de compartimientos puede ser indefinido.

La lectura de las indicaciones del aparato no ofreceria gran complicacion. El número de válvulas cerradas daria el número de atmósferas efectivas sobre la normal del aire libre; y las fracciones de otra atmósfera más se leerian en el departamento contíguo que no tuviese válvula cerrada, computando el respectivo desnivel.

Las columnas líquidas pueden sin inconveniente tener una altura menor que la necesaria á equilibrar la atmósfera; pero entonces habrá que aumentar su número correspondientemente.

El aire, al pasar por los tabiques $t$, $t'$, $t''$....., formará con el líquido, si este es agua, una mezcla de líquido y de burbujas gaseosas, cuya densidad será de bastante menor densidad que la del líquido solo: para evitar los inconvenientes de las falsas indicaciones que, por este concepto, pudiera dar

el aparato, se separaria la columna de agua y de burbujas, de la columna de líquido puro; y, al efecto, cada compartimiento se dividiria en dos porciones, comunicantes solo por la parte inferior.

En la *fig.* 221, el tabique se ve de frente (no de perfil, como hasta ahora se ha venido mirando el aparato) y corresponde á los compartimientos $A'$, $B'$, $C'$, y no á los $A$, $B$, $C$, ....

Fig. 221.



## II.

Solo como aplicacion de los fecundos principios explanados en este libro, he hablado de este manómetro, que de ninguna manera puede ponerse en parangon con el ingeniosísimo instrumento de columnas múltiples inventado por Richard.

No siendo apenas conocido en España este manómetro, quiero decir cuatro palabras acerca de él.

Varios tubos encorvados, á continuacion unos de otros, vienen á constituir uno solo, doblado alternativamente, segun marca la *figura* 222.

Por un extremo comunica con una caldera de vapor ó un depósito de gas percondensado; por el otro con el aire libre. La mitad inferior está llena de mercurio; la superior, de agua. Este segundo líquido transmite de un tubo en otro la presion debida al desnivel de dos ramas $a\ b$ de mercurio contíguas. Como todos los desniveles son iguales, no hay más que multiplicar un desnivel por el número de ellos, para saber la altura total del mercurio. Si la diferencia $ab$ fuese igual á 76 centímetros, tendríamos que la tension en la caldera sería

$$=76 \times (5 \text{desniveles} + 1 \text{ atm. ambiente}) = 6^{at}.$$

De esta cantidad habria que descontar otros cinco desniveles, simétricamente inversos,

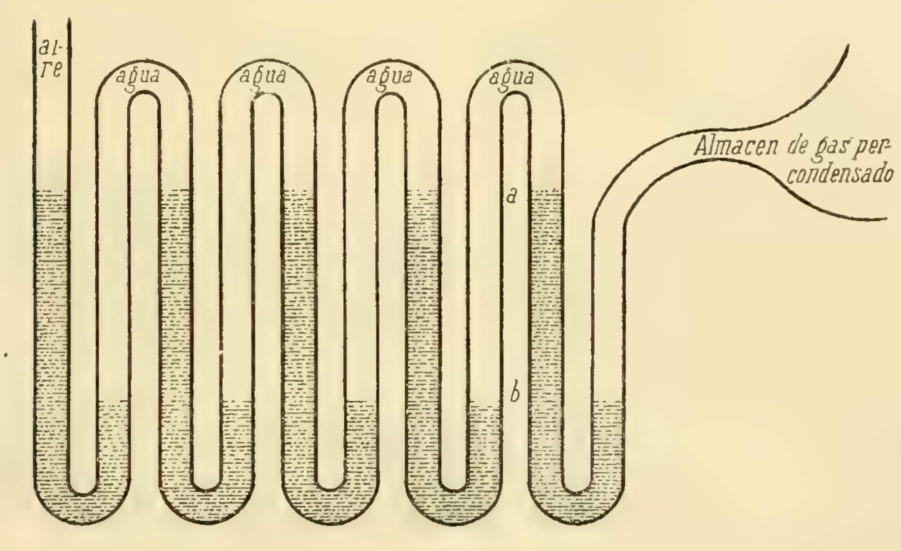



Fig. 222.

del agua transmisora de las presiones. (Regularmente se prescinde en la práctica de esta correccion.)

En el Diccionario enciclopédico (citado en la pág. 200 de esta obra), *des amusemens des sciences mathématiques et physiques*, hallo que, ya á fines del siglo pasado, se añadia la presion propia de un desnivel de mercurio á la presion de otro ú otros desniveles, por medio de columnas *transmisoras de presion*, compuestas de un líquido ligero.

Un Mr. Amoutons construia (pág. 802 del dicho Dicionario) barómetros cuyos dibujos reproduzco.

Las líneas horizontales simbolizan mercurio; los espacios indicados por puntos estaban llenos, mitad de aceite de tártaro teñido, y la otra mitad de aceite de karabe (1).

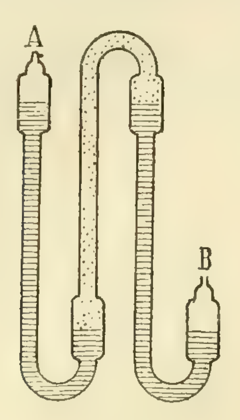



Fig. 223.

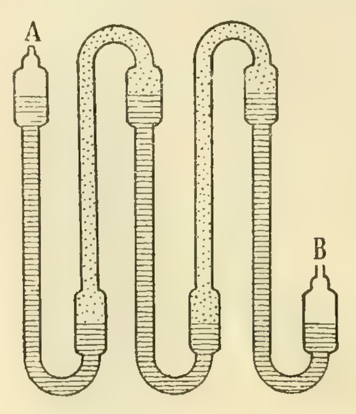



Fig. 224.

El extremo *A* se hallaba cerrado; el *B* abierto.

Un Mr. DE LUC demostró (ya lo creo) que de estos barómetros ni uno siquiera funcionaba bien. Este barómetro se llamaba *composé ou réduit*.

## III.

Pero, si para muchas atmósferas me parece superior é inmejorable el manómetro de columnas múltiples de agua y mercurio de RICHARD, acaso para la medicion de presiones comprendidas entre 1 y 5, ó 6 atmósferas, podria ser alguna vez de utilidad otro manómetro de columnas múltiples de mercurio y aire, construido como sigue.

Pongamos como ejemplo un manómetro que mide hasta 4 atmósferas. Y, para facilitar la exposicion, empezaré suponiendo rectangular el aparato, en vez de circular, que es como debiera ser, caso de pensarse en esto.

Los departamentos inferiores están llenos de mercurio, indicado por las rayas horizontales. Los superiores están llenos de aire á la densidad atmosférica. Las dimensiones son (*fig.* 225,) como sigue:

$b = 2\,a;$
$c = 3\,b;$
altura $h\ h' = 0^{m},760 = 1^{at}$.

Entendido esto, supongamos que el tubo *t* se pone en comunicacion con una caldera de vapor, ó un recipiente de gas comprimido á 4 atmósferas.

El aparato aparecerá entonces como en la *figura* 226.

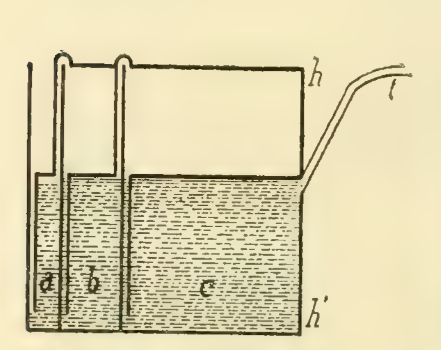



Fig. 225.

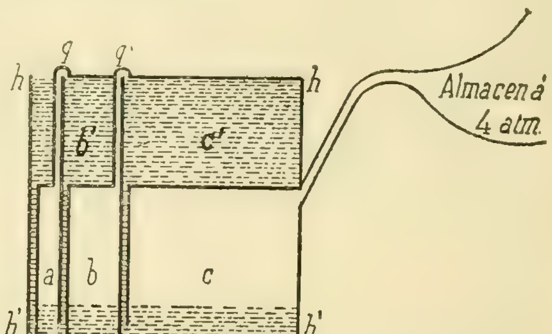



Fig. 226.

(1) Moitié d'huile de tartre colorée, moitié d'huile de karabé. On voit aisément que la première colonne de mercure pèse, au moyen de la colonne de renvoi, sur la seconde, précisément comme si elle étoit au-dessus.

Todo el mercurio necesario á llenar los compartimientos superiores habrá subido á ellos desde los inferiores.

Y por consiguiente,

El aire que habia en $c'$ está ahora en $b$, reducido á una tercera parte de volúmen;

El aire en $b'$ se halla ahora en $a$, reducido á la mitad.

Y por tanto,

El aire en $a$ está á $2^{at}$, puesto que

$$h\,h' = 0^{m},760;$$

El aire en $b$ se halla á $3^{at}$, por pesar sobre él una columna de mercurio $= h\,h'$ + la presion de $2^{at}$, que el aire en $a$ ejerce en la pequeñita cúpula $q$;

Y el aire en $c$ soporta una presion de 4 atmósferas, por ejercer sobre él su accion una columna de mercurio $= h\,h'$ + la presion de $3^{at}$ transmitida desde $b$ á la cupulita $q'$.

Para la exactitud de los cálculos habria que computar los espacios perjudiciales y la temperatura, lo que sería de tanta complicacion y engorro, que haria dar de lado á esta clase de manómetros, cuya forma circular de galerías concéntricas sería como representa la figura siguiente.

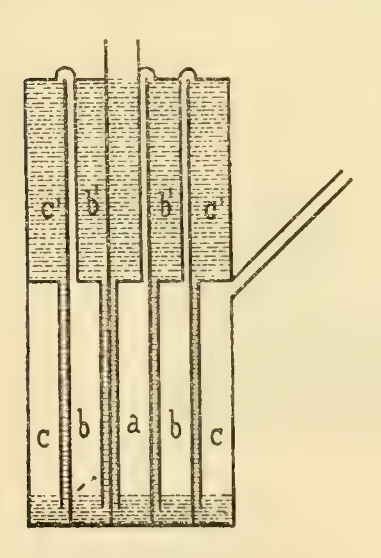



Fig. 227.

Solo por via de ejercicio y amplificacion, despues de lo manifestado en el anterior capítulo III, parece no excusado insistir en que los niveles no tendrian la misma altura en los departamentos del manómetro, sino en el momento del máximum.

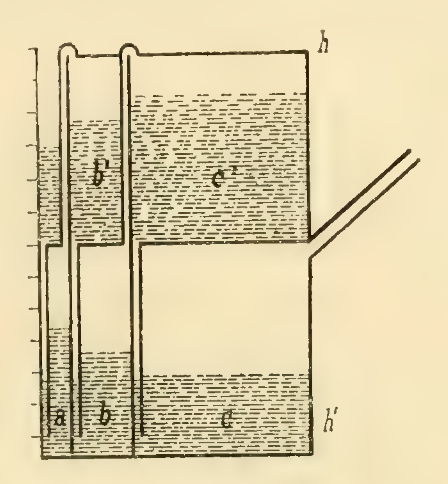



Fig. 228.

Evidenciémoslo con un ejemplo.

$$\text{Sea } b = 2a = 6^{c^3} \times 2 = 12^{c^3};$$
$$c = 3b = 12^{c^3} \times 3 = 36^{c^3};$$
$$h\,h' = 0^{m},76.$$

Si, con estas condiciones, está lleno de aire comprimido el medio departamento $a$ tendremos

$$\text{Presion en } a = 1^{at} + \frac{6}{12} \text{ de mercurio} = \frac{3^{at}}{2}.$$

El aire que hay en la mitad del departamento $a$ es parte del que existia en $b'$; pero, como esta masa de aire está sometida á la presion de $1\tfrac{1}{2}$ atmósferas, resultará que su volúmen es igual á

$$12^{c^3} \times \frac{2}{3} = 8^{c^3};$$

De estos $8^{c3}$ hay 3 en el departamento $a$, luego quedan 5 en $b'$.

Luego el mercurio ha subido en $b'$, hasta la division $9\tfrac{1}{2}$.

Por consiguiente,

el aire en $b$ está comprimido:

Por la presion atmosférica normal $= 1^{at}$

Por la media atm. de mercurio en $a = \dfrac{1}{2}$

$$\left.\begin{array}{l}\text{Por } \dfrac{3\frac{1}{2}}{12} \text{ en } b' \\ \text{Por } \dfrac{3\frac{1}{2}}{12} \text{ en } b\end{array}\right\} \cdots\cdots\cdots = \frac{7}{12}$$

*Total*.....$= \dfrac{25}{12}$

El volúmen de aire en $b$ es parte de los $36^{c^3}$ que existian en $c'$: y, como estos se hallan sometidos á una presion de $\frac{25}{12}$, el volúmen se habrá reducido á

$$36^{c^3} \times \frac{12}{25} = \frac{432}{25} = \frac{1728}{101} = 17^{c^3},28;$$

De estos 17,28 hay ya 7 en $b$, por manera que solo quedan en $c'$

$$17,28 - 7 = 10,28.$$

Pero para esto es preciso que el mercurio de $c$ haya subido en $c'$ hasta la division 10,29.

Luego los niveles no están á la misma altura en los tres departamentos, como queríamos demostrar.

Por lo demás, si quisiéramos saber la presion que la caldera, ó el depósito de aire comprimido, ejerce en $c$ sobre el conjunto manométrico, tendríamos:

| | |
|---|---|
| Presion de la atmósfera ambiente= | $\frac{12}{12}$ |
| del mercurio en $a$.......= | $\frac{6}{12}$ |
| del mercurio en $b$.......= | $\frac{7}{12}$ |
| del mercurio en $c' = 4,29$ } en $c = 4,29$ } | $\frac{9,58}{12}$ |
| *Presion total sobre c*...= | $\frac{34,58}{12}$ |

De todo lo cual se deduce que esta clase de manómetros deberia graduarse mediante cálculos análogos al anterior, etc.

Esta dificultad y las correcciones de temperatura habrian de amenguar considerablemente su valor práctico, si alguien se decidiera á ponerlos en ejecucion.

## IV.

Este sistema puede emplearse en gasómetros destinados á encerrar gases cuya tension sea algo elevada.

La tension estará representada por la suma de las diferencias de niveles, sin necesidad de dar al aparato exagerada altura.

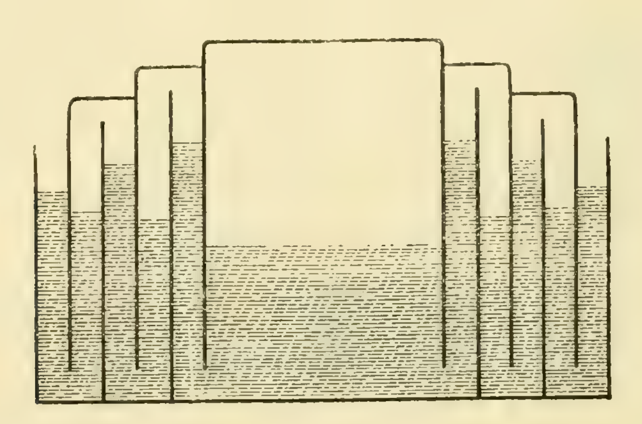


Fig. 229.

Excusado es decir:

1.° Que las galerías deben quedar reducidas á un mínimum (1).

2.° Que pueden ser de mercurio y agua alternadamente las columnas compresoras.

(1) En las figuras aparecen, para facilitar la intuicion, exageradísimos los espacios.

Tambien pudiera haber motores fundados en esta propiedad, especialmente si en vez de agua y aire, se emplease mercurio y aire; ó mercurio y agua; ó bien mercurio y agua y aire.

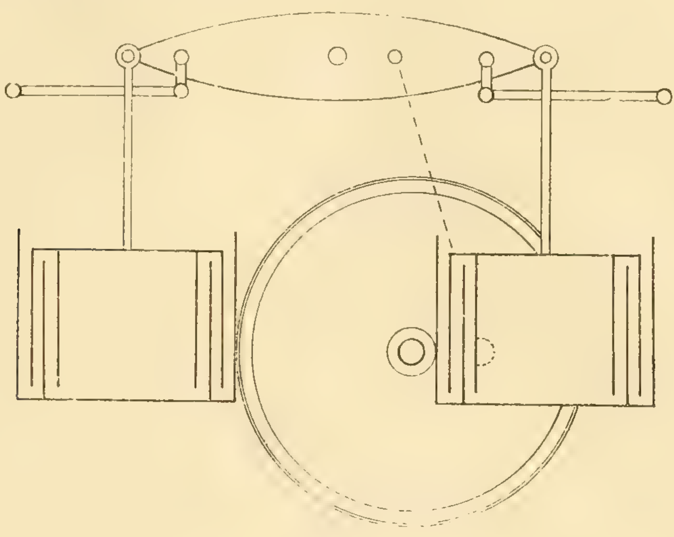


Fig. 230.

Fácil es suponer el juego de las válvulas.

Si se utilizara la expansion, se rescataría por completo la fuerza empleada en desnivelar las columnas líquidas.

Y los rozamientos serían casi nulos.

# LIBRO III.

---

## COMPRESION FORAL.

# CAPITULO I.

## LOS FOROS SIMPLES.

I.

He dicho en otras partes de esta obra que, para recoger la fuerza de las mareas, consideraba organismos superiores aun á los cilindros conjugados diferencialmente, los aparatos de condensacion y almacenaje para los que he adoptado el nombre de FOROS.

Paso, pues, á describirlos, analizarlos, y demostrar sus evidentes y considerables ventajas sobre todos los sistemas de cilindros.

Pero acaso habrá quien pregunte que por qué he empezado con los émbolos. Sencilla es la respuesta: porque es más fácil demostrar la teoría en los émbolos que en los foros, y porque los foros, á causa del espacio que exigirán en la mayoría de los casos, tal vez no hallen oportuna aplicacion allí donde los sistemas cilíndricos pueden ser de utilidad. Por otra parte, no me parece que los sistemas de foros conjugados resulten siempre cómoda é industrialmente portátiles, mientras que, sin presuncion de grandes dificultades, es dable esperarlo de los cilindros conjugados.

Unos y otros aparatos pueden ser de provechosa aplicacion: érame indispensable describir ambas clases; y, pareciéndome más aceptable empezar por los émbolos sólidos que por los émbolos líquidos, dí á los primeros prelacion.

Y debo manifestar que en mi imaginacion y en mi inteligencia fueron primero los foros que los émbolos. Muchos años antes de pensar en los émbolos diferenciales, ya habia hecho yo experimentos con los foros.

II.

Llamo FORO SIMPLE á toda capacidad engendrada por el perímetro de un polígono, cuyo plano gire alrededor de una línea trazada en el mismo plano exteriormente al polígono (1).

---

(1) Los norte-americanos usan la voz FORO, aunque no en sentido tan general. (Véase NYSTROM, *Book of Mechanics*, en las fórmulas de planimetría y estereometría.)

Como la latina *forum*, plural *fora*, tiene esta palabra estrecho parentesco con *foris*, *foras*, fuera de puertas.

Sirve, pues, muy bien para designar la ca-

Sea *c* una circunferencia trazada en el plano de este papel; y gire esta circunferencia al rededor de la recta *ab*, trazada exteriormente á ella en el mismo plano (*fig*. 231).

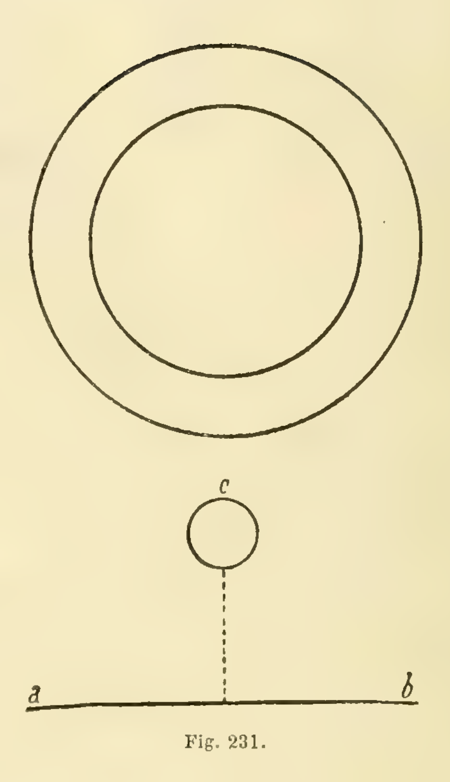


Fig. 231.

La circunferencia en su revolucion engendrará un cuerpo, que será un FORO CIRCULAR.

Si en vez de una circunferencia, hubiera girado al rededor de la recta *ab*, un cuadrado, un exágono, un enéagono, una elipse....., entonces habríamos obtenido un foro cuadrado, exagonal, eneagonal, elíptico, etc.

La posicion de la línea, eje de rotacion del plano, producirá variantes en los foros de una misma denominacion.

Foros elípticos serán los engendrados por las *figuras* 232, 233 *y* 234, girando respectivamente al rededor de $a'b'$, $a''b''$ y $a'''b'''$; pero es de toda evidencia que esos 3 foros no serán idénticos.

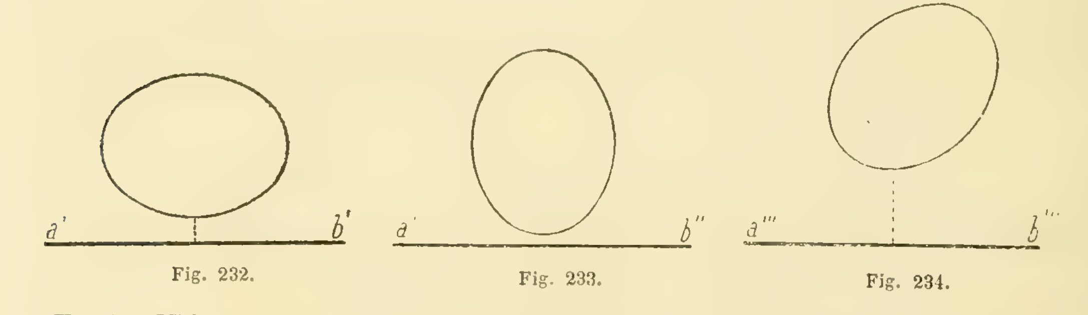


Fig. 232. Fig. 233. Fig. 234.

---

pacidad engendrada por el perímetro de una figura plana, situado más allá ó «fuera» de una recta. La generacion de muchos sólidos de revolucion es solo un caso particular de la generacion de nuestros foros, cuando la línea que sirve de eje de rotacion es tangente á una de las que constituyen el polígono.

Por ejemplo, si el triángulo *cde* gira al-

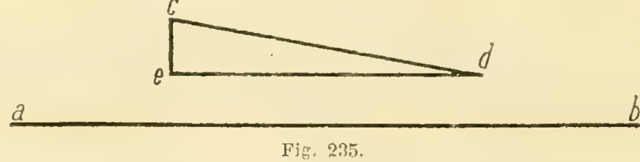


Fig. 235.

rededor de la línea *a b*, trazada en el mismo plano del triángulo, obtendremos un foro triangular; pero si la línea *a b* se acerca, paralelamente á sí misma, hasta hacerse tangente al triángulo, ó, lo que es lo mismo, hasta confundirse con la línea *cd*, entonces el sólido de revolucion será un cono....., etc.

Dos cilindros concéntricos y de igual altura dejan entre sí una capacidad anular, cuya seccion diametral, perpendicularmente á las bases, es un rectángulo: ese espacio intercilíndrico constituye un foro rectangular.

Para facilidad de la exposicion, todos los foros que analizaremos en esta obra serán galerías intercilíndricas.

Y, para precisar y uniformar las denominaciones, llamaré PROFUNDIDAD á la altura de los cilindros cuya galería intercilíndrica constituye el foro, y ANCHURA á la diferencia de los radios.

Así, $pq$ será la PROFUNDIDAD, y $qr$ la ANCHURA del foro representado en la *fig.* 236.

Llamaré RADIO INTERIOR del foro á la distancia $or$, y RADIO EXTERIOR del foro á la distancia $oq$ (el primer radio es el mismo de la base del cilindro interno, y el segundo es justamente el radio de la base del cilindro externo).

Por último, llamaré á la línea $qq'$ DIÁMETRO VERTICAL del foro (1).

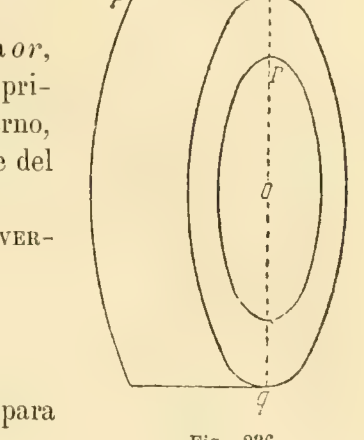


Fig. 236.

## III.

El foro es un aparato sumamente adecuado para la compresion del aire.

Veámoslo en una primera aplicacion.

Sea $abcde$ un foro rectangular (*fig.* 237).

Un tabique $t$ lo divide en dos partes completamente independientes.

El semiforo superior está lleno de aire.

El inferior, de agua, indicada por el rayado.

Medio foro, pues, contiene un líquido, y el otro un gas á la densidad normal atmosférica.

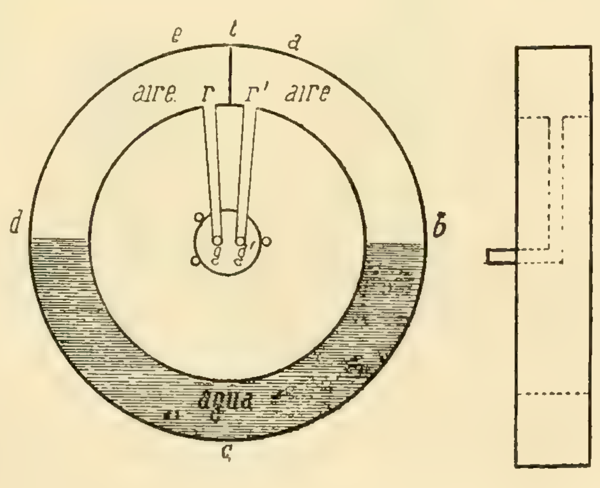


Fig. 237. Fig. 238.

(1) Esta línea $qq'$ representa la proyeccion de un plano perpendicular á las bases, y pasa por el eje HORIZONTAL del foro, pero estando siempre vertical.

Este plano vertical, «QUE ES IMAGINARIO,» tiene gran importancia, como despues veremos: todos los foros giran, y por tanto, ninguna de sus partes está fija en el espacio; pero el plano vertical imaginario que pasa por el centro no varía, y á él se referirán, cuando sea necesario, las distancias de los órganos forales en cualquier período ó en cualquier momento de la rotacion.

El tabique $t$, perfectamente soldado á las paredes del foro, deja al aire de la derecha enteramente incomunicado con el aire de la izquierda, y vice-versa.

De cada uno de los dos cuadrantes superiores sale un tubo $rg$, $r'g'$: por sér recodados ó á escuadra estos tubos, cada uno de los dos cuadrantes del semi-anillo de aire interno, comunica con la atmósfera por $g$ y $g'$.

Y si el anillo completo de agua y aire se suspende por el centro de figura, ó, lo que es lo mismo, se suspende de un árbol hueco *ooo*, cuyo eje esté SIEMPRE horizontal, será muy fácil hacer oscilar todo el sistema, ya á derecha, ya á izquierda.

Veamos el modo de funcionar.

Gire hácia la derecha ó *dextrorsum*, con una regular velocidad, el aparato.

El aire de la parte $A$ se condensará; y, por su impenetrabilidad, hará huir el agua hasta desnivelar sus dos ramas. Comprimido el aire del cuadrante $A$, saldrá con fuerza por el orificio $g'$ (en la *fig.* 239 el orificio á nuestra derecha, perpendicular al plano del papel); y esa fuerza de salida será la correspondiente á la presion del líquido, ó sea á la diferencia de nivel en las superficies libres de sus dos ramas.

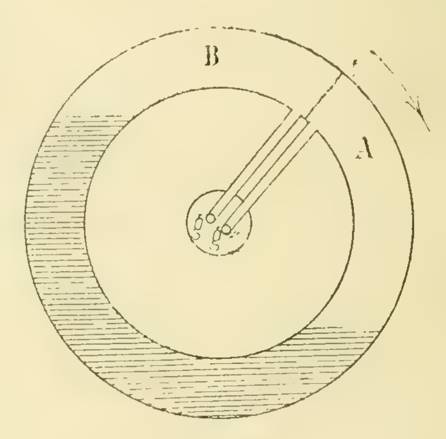
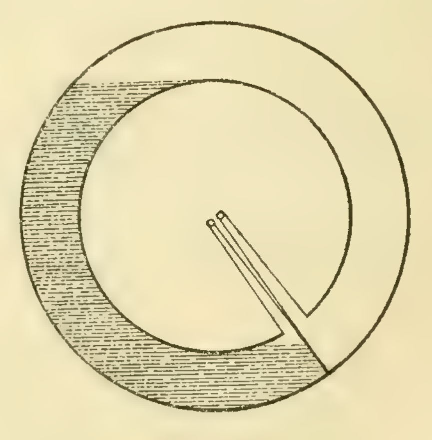


Fig. 239.

Mientras tanto, el aire de la parte $B$ habrá aumentado su volúmen con una cantidad de aire atmosférico (ingresado por el orificio de la izquierda $g$), suficiente á llenar el vacío que produce el tabique $tt$ al desviarse del agua existente en $B$.

Persistiendo el movimiento circular del foro, quedaria expulsado de $A$ todo el aire que en un principio allí existia, y se encontraria lleno de aire el semi-foro, que al principio era solo el cuadrante de la izquierda.


Fig. 240.

Con rotacion *sinistrorsum* ó inversa de la anterior, saldria ahora por $g$, comprimido todo el aire en $B$, y se llenaria por $g'$ el espacio del lado $A$.

Y así sucesiva y alternativamente.

V.

Un foro, tal cual se ha indicado, se convierte con suma facilidad en un fuelle hidráulico (1), de suma eficacia y enorme abundancia de aire.

VI.

Pero, siendo intermitente el chorro de aire de estos fuelles, por ser alternativo el movimiento circular que engendra la compresion, para que resulte contínuo se hará pasar el aire comprimido, desde el foro de émbolo líquido al interior de un gasómetro, del cual saldrá ya el chorro aéreo con una presion sensiblemente constante (2).

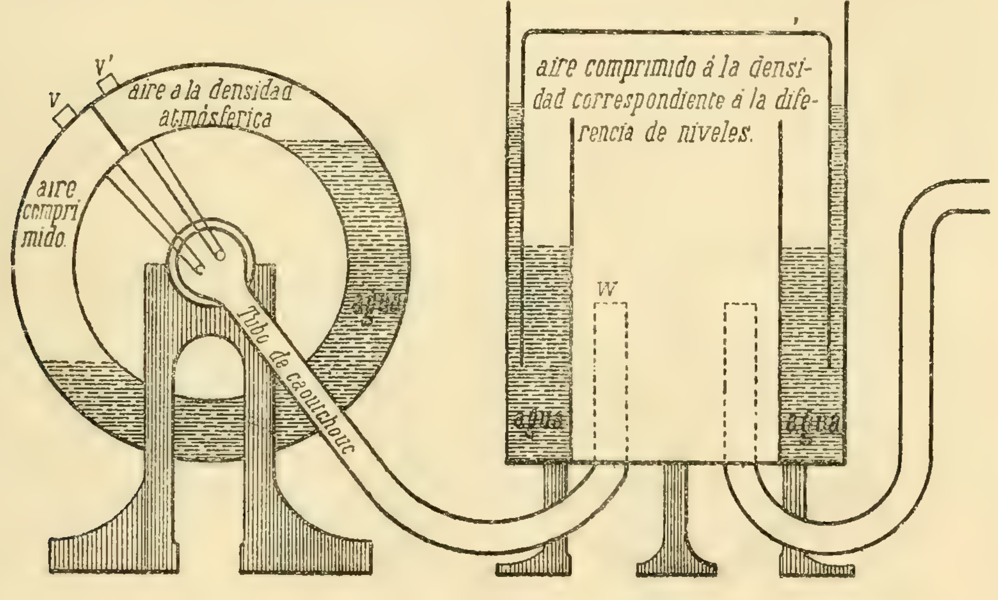



Fig. 241.

En $w$ hay una válvula que se abre cuando la presion del aire en el foro es superior á la del gasómetro; y, cuando no, se cierra.

Tambien en los extremos anteriormente designados por $g$ y $g'$ hay válvulas que se abren cuando la presion foral es superior á la del tubo de caoutchouc.

(1) Si el foro se hace de hierro ó cristal, y el piston líquido es de azogue en vez de ser de agua, se obtiene inmediatamente un fuelle hidrargírico, que puede ya lanzar el chorro de aire con una gran presion.

(2) En Buenos-Aires ha construido (1869) mi buen amigo y antiguo compañero en el Observatorio de San Fernando Sr. D. FRANCISCO PEÑA Y OTERO estos fuelles hidráulicos, que le di á conocer en 1862.

El aire de la atmósfera entra en el foro cuando en él se inicia el vacío, y se introduce por válvulas en $v$ y $v'$, que se abren hácia dentro respectivamente.

## VII.

El gasómetro exige espacio, lo que en algun caso será un inconveniente, fácil de obviar tal vez, colocando el gasómetro por encima del foro.

Entonces pueden suprimirse los tubos flexibles de caoutchouc, adoptando la disposicion de las *figuras* 242 *y* 243, y rodeando los ejes de cueros embutidos. Luego veremos cómo se pone el foro en movimiento por medio de un piñon y su volante.

El aire se aspira por $a$ ó por $a'$, y se expulsa por $b$ ó por $b'$.

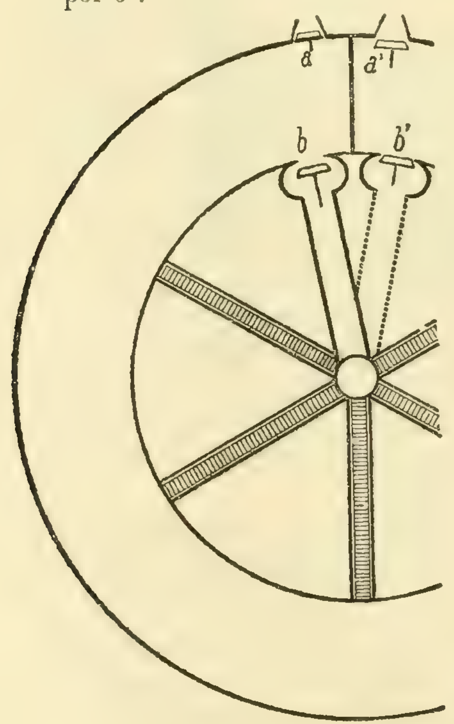



Fig. 242.

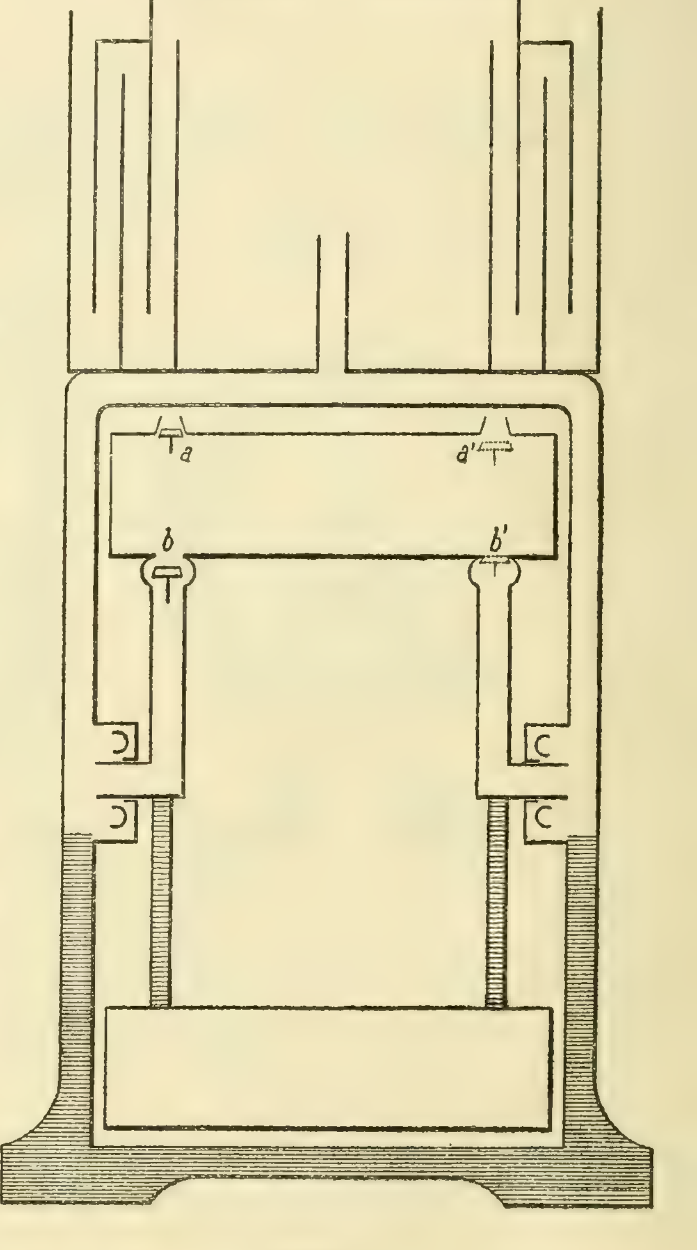



Fig. 243.

Puede obviarse tambien la intermitencia del chorro aéreo, colocando el regulador dentro del aparato mismo. En este caso el regulador puede ser una especie de manómetro de aire comprimido, consistente en un cilindro abierto lateralmente, y sumergido en agua paralelamente á una de sus generatrices (*fig.* 244).

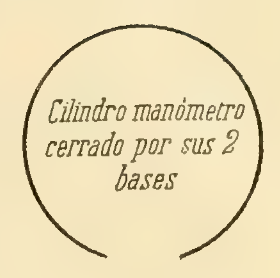



Fig. 244.

Este manómetro va colgado del eje del foro, y, para colgarlo, pasa un tubo de base á base del cilindro (*figura* 245).

Volvamos ahora al foro, que exige modificacion.

Dos bases metálicas cierran el cilindro interior, de manera que el conjunto está formado por un cilindro interior rodeado de un foro cuadrangular. Atraviesa el cilindro interno el eje del aparato, que es otro cilindro hueco, lleno de orificios en la parte situada dentro del cilindro interno. El eje está perfectamente soldado á las bases metálicas, de modo que el aire no pueda entrar ni salir por las circunferencias de union ó de contacto.

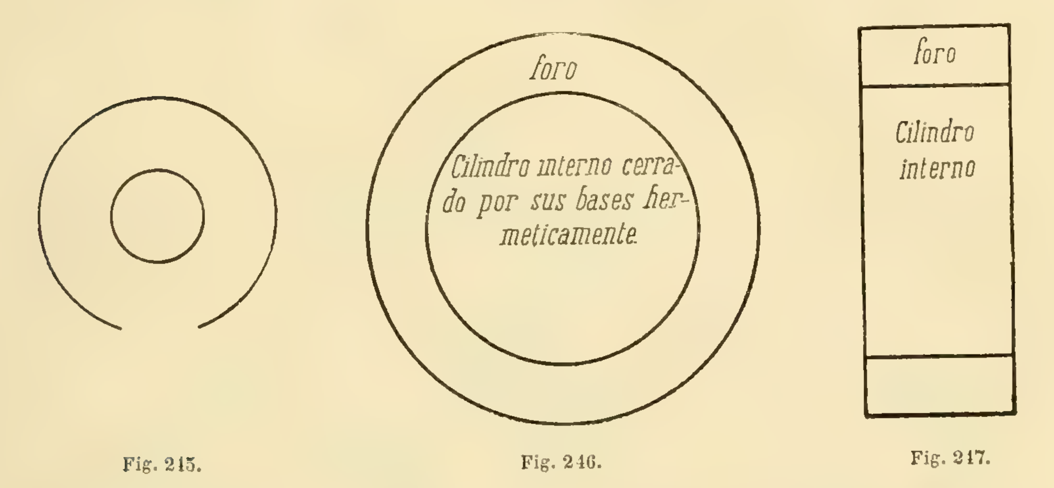



Fig. 245. Fig. 246. Fig. 247.

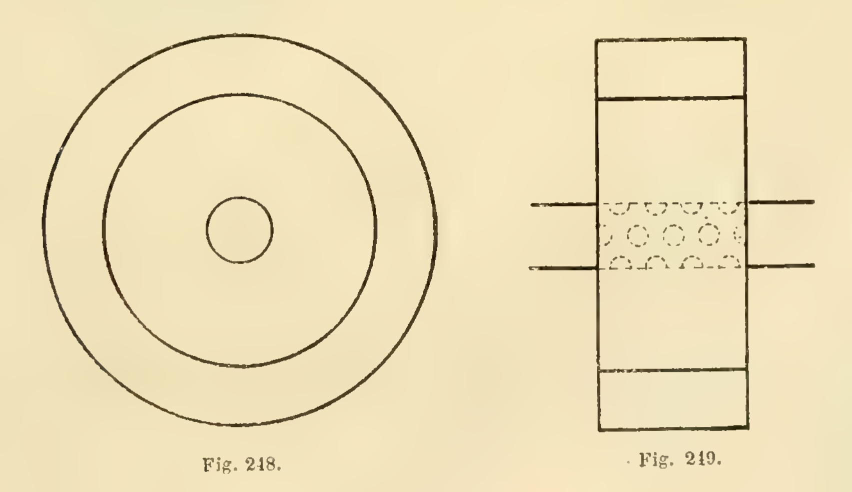


Fig. 248. Fig. 249.

El «manómetro regulador» quedará suspendido en el eje, segun marca la *fig.* 250.

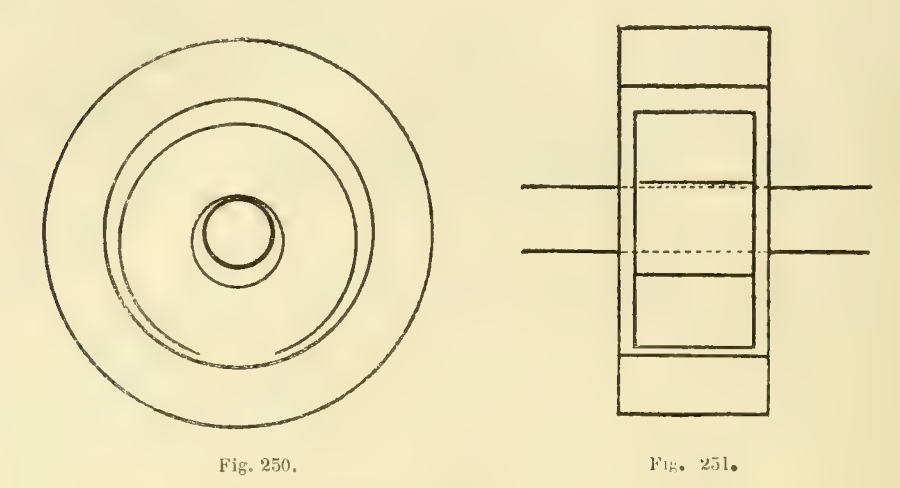


Fig. 250. Fig. 251.

Y el líquido compresor (en el foro), y el líquido regulador (en el manómetro), tomarán, por ejemplo, la posicion que sigue:

El aire, comprimido en *B*, abre la válvula *b*, y pasa á la galería *ggg*....
Este aire comprimido produce 2 efectos:

1.° Introduce dentro del manómetro gran parte del agua existente en la galería.

2.° Desde la galería *gg* se desliza por entre los fondos circulares del regulador y las chapas circulares del cilindro interior, herméticamente cerradas.

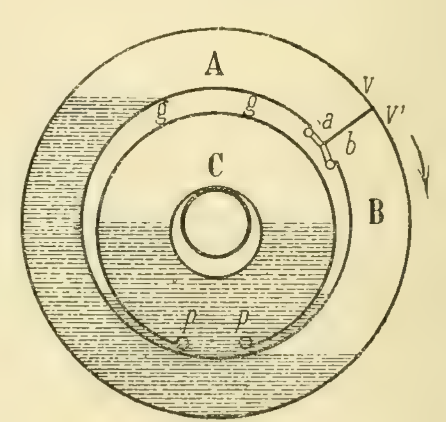



Fig. 252.

Pasa luego por la media luna formada por el eje lleno de orificios, y el cilindro que atraviesa de parte á parte el regulador;

Penetra en el eje por los orificios allí existentes;

Y sale por el eje al exterior para ser guiado á donde convenga.

La válvula *v* se abre, y entra aire atmosférico en *A*. Cuando la rotacion sea contraria á la direccion de la flecha, el aire comprimido en *C* llenará de agua gran parte de la galería, durante el espacio de tiempo en que el foro se halla inactivo; este líquido á su vez reducirá el espacio existente con aire en la galería misma, y continuará así saliendo aire comprimido á través de los orificios del eje al exterior, y á donde convenga, hasta que vuelva á haber presion suficiente en el departamento *A* del foro, mediante la rotacion inversa.

El manómetro estará siempre vertical, aunque gire el eje, si se le lastra

convenientemente por medio de las barras ó pesos *pp*; de modo que la parte inferior pese bastante más que la superior.

Así, el fuelle hidráulico ocupará ciertamente poco espacio, y el chorro de aire nunca será intermitente; pero no podrá tener la constancia que en el caso del gasómetro. La campana gasométrica ejerce, por su peso, una presion sensiblemente constante, puesto que el peso no varía; al paso que el aire del manómetro, comprimido en *C*, tiene que ir perdiendo forzosamente de su eficacia á medida que se vaya dilatando (al tratar de regularizar el chorro del aire comprimido), mientras, en la marcha retrógrada del foro, no suministre éste el aire á la tension deseada.

Pero, por grande que sea esta irregularidad, mucho mayor aún es la de los fuelles actuales movidos á brazo.

Quizá de ningun modo estorbaría ménos el gasómetro, que colocándolo en el interior del foro, como se indica en las *figuras* 253 *á* 256: un tubo flexible de caoutchout no dibujado en las figuras, pondria en comunicacion el conducto de salida *a* del aire, comprimido en el foro, con el tubo recodado *bw* de ingreso en el gasómetro: otro tubo recodado (implantado tambien en el sosten *mn*), daria salida al aire del gasómetro; y el aire, así, casi á presion constante, sería conducido por otro tubo flexible, tampoco dibujado, á donde hubiese necesidad.

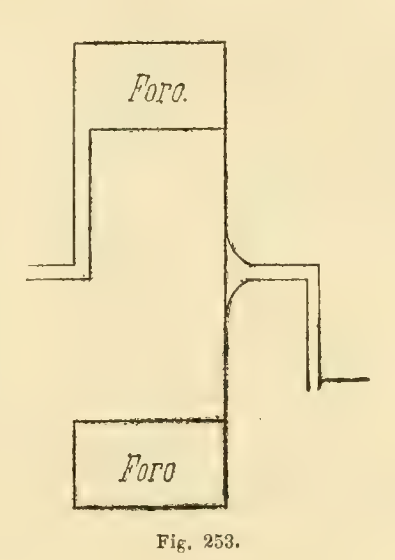


Fig. 253.

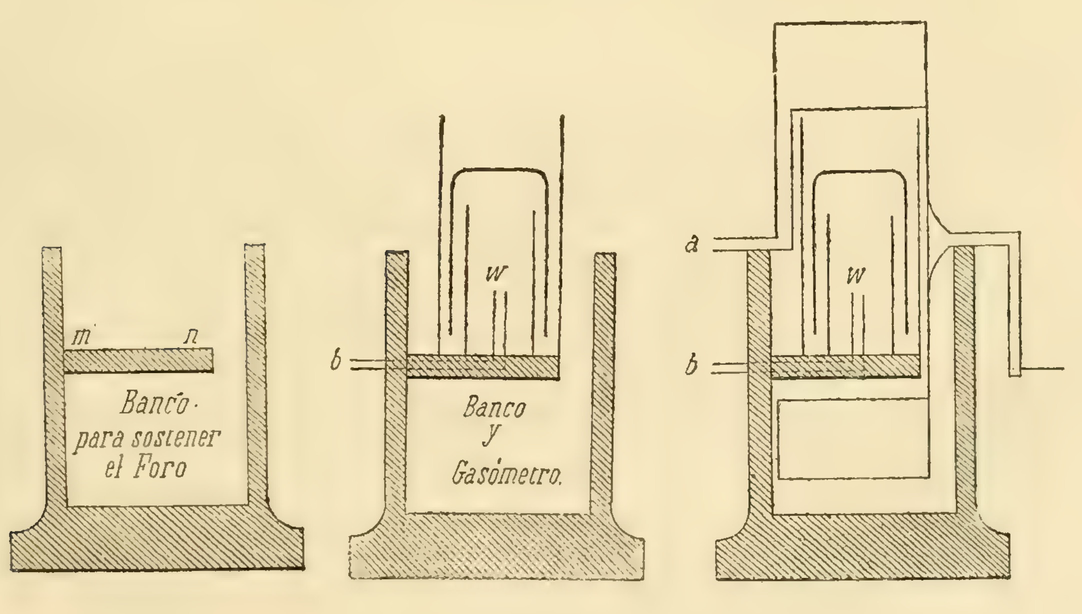


Fig. 254. Fig. 255. Fig. 256.

## VIII.

Este sistema de fuelles hidráulicos presentaria un inconveniente, no ya cinemático, sino dinámico, que solamente se podria evitar adaptando al árbol motor un volante.

Cuando ya ha sido expulsado todo el aire existente á un lado del tabique (como representa la *fig.* 257), tiene el foro que emprender una rotacion retrógrada (ó en sentido inverso). Hasta que los dos niveles del semi-foro líquido se ponen horizontales, el aparato permanece inactivo; y de aquí la necesidad de un gasómetro ó manómetro, para que no se interrumpa el chorro gaseoso.

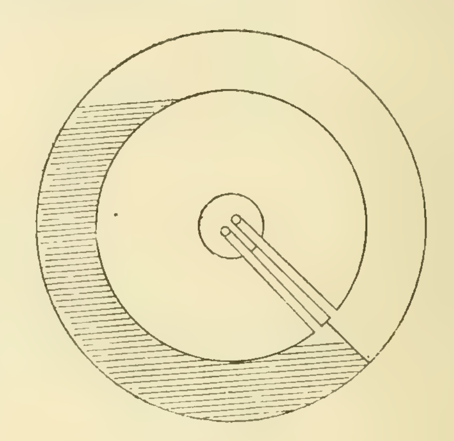


Fig. 257.

Pero no es esto lo peor: lo peor es que, pesando mucho más el lado donde carga el agua, no solo se desperdicia la potencia almacenada y residente en ese peso, sino que hasta hay que gastar fuerza en amortiguar su efecto, para evitar el natural deterioro del aparato, si se abandonara el foro á sí mismo cuando ya nada queda por comprimir á un lado del tabique. Para aprovechar, pues, ese peso, debe trasladarse su energía á la masa de un volante, utilizando á tal fin el organismo que, dada la forma y tamaño del foro, sea más eficaz de entre los que transforman el movimiento circular contínuo en circular alternativo.

Eficaz creo que sería el medio siguiente de entre varios que he imaginado.

El foro por su parte exterior (excepto un cierto arco fácil de determinar) estaria lleno de dientes salientes de doble engranaje, en los cuales pudiese engranar un piñon, tanto por su derecha como por su izquierda. (Los dientes mejores serían los doblemente epicicloidales.)

El piñon estaria implantado en el eje de un volante.

Y este eje se hallaria colocado en un estribo tal, que pudiese oscilar, suspendido de otro eje paralelo.

Así se evitarian guias y rozamientos.

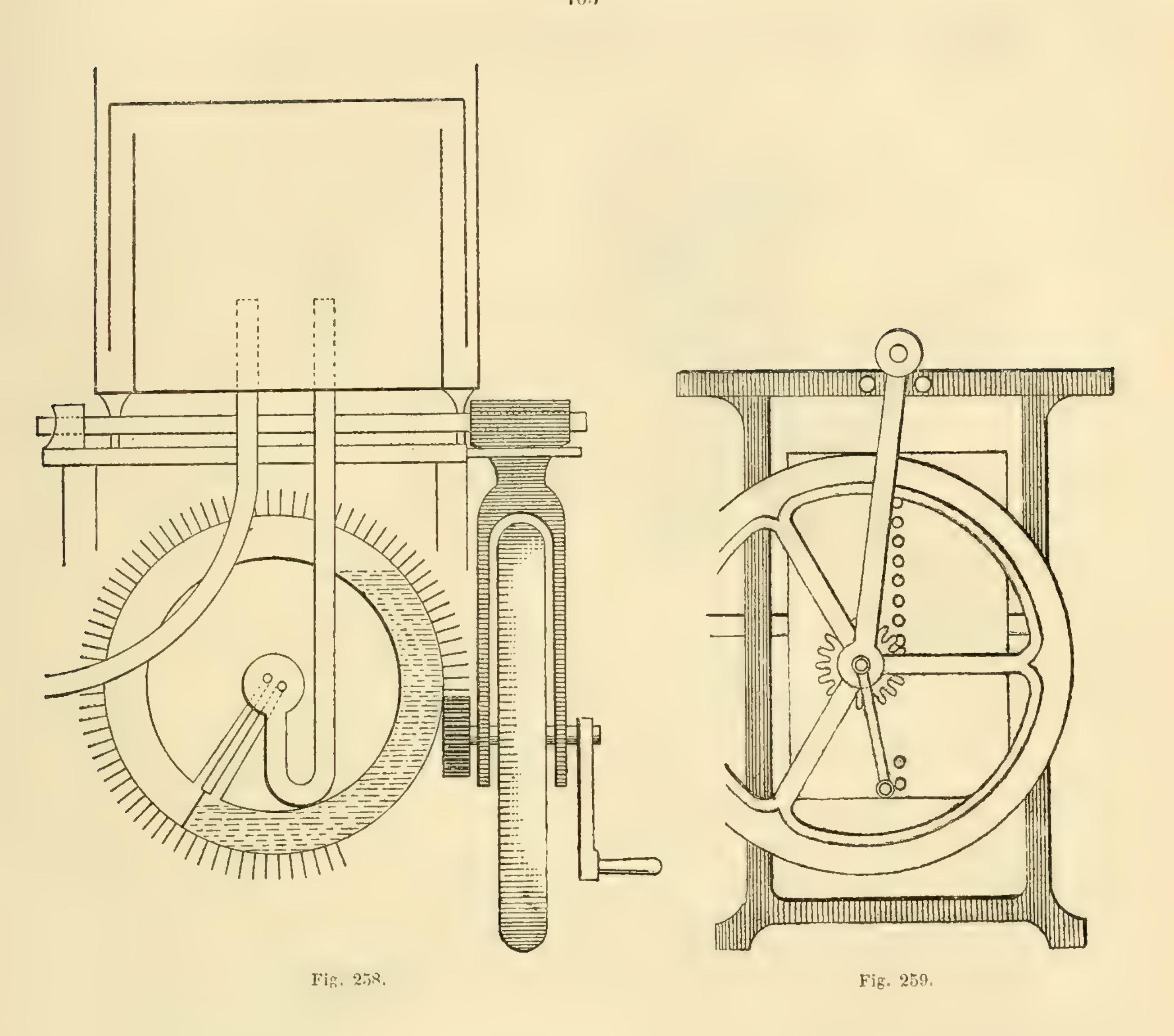


Fig. 258.

Fig. 259.

A considerarse necesario, dos topes limitarian convenientemente la amplitud de la oscilacion (1), deteniendo al estribo. El mismo peso del volante, del piñon y de su estribo facilitaria los cambios de posicion á un lado y otro de los dientes; y, además, la adherencia necesaria para el constante engranaje del piñon.

Si, en vez de aplicarse la potencia muscular de uno ó varios hombres al manubrio del volante, quisiéramos utilizar algun motor inanimado, como el

(1) De este modo no es de temer ninguna componente perjudicial de rotaciones. La demostracion, aunque fácil, requeriria un desarrollo ajeno al objeto de esta obra.

vapor, etc., podríamos poner el volante en movimiento indirectamente, por medio de correas, como indican las *figuras* 260 *y* 261.

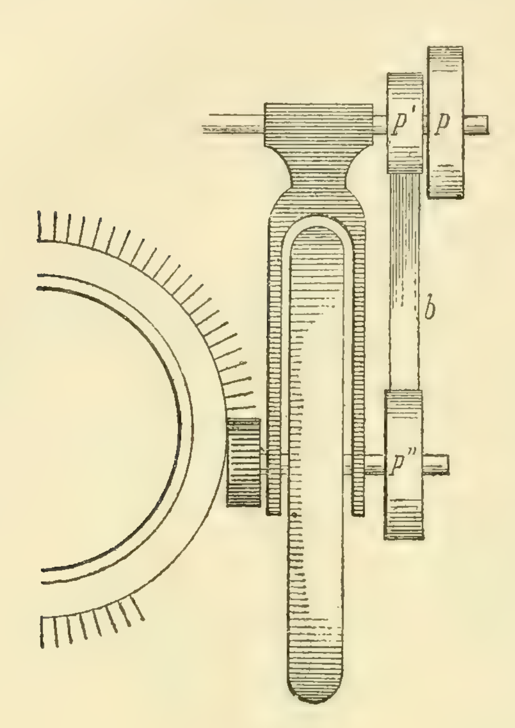



Fig. 260.

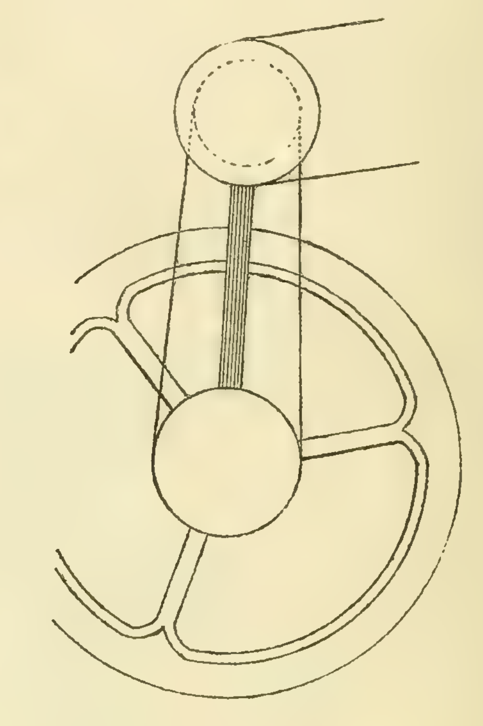
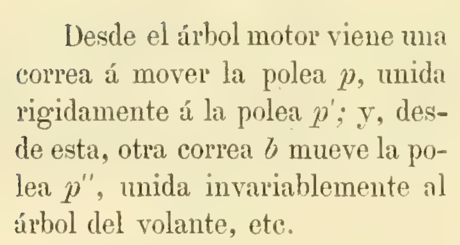


Fig. 261.



Desde el árbol motor viene una correa á mover la polea *p*, unida rigidamente á la polea *p'*; y, desde esta, otra correa *b* mueve la polea *p''*, unida invariablemente al árbol del volante, etc.

Si hubiese temor de que pudieran resultar inconvenientes de un volante en oscilacion, no le habria en colocar el volante en el eje fijo (*fig.* 262) (el que nos viene sirviendo para la suspension), reservando para el estribo el piñon y la polea *p''*, fija en el eje mismo del piñon, la cual recibiria por medio de una correa, el movimiento que le transmitiese la polea *p'*..... como antes.

No es mi intento entrar en pormenores precisamente técnicos,

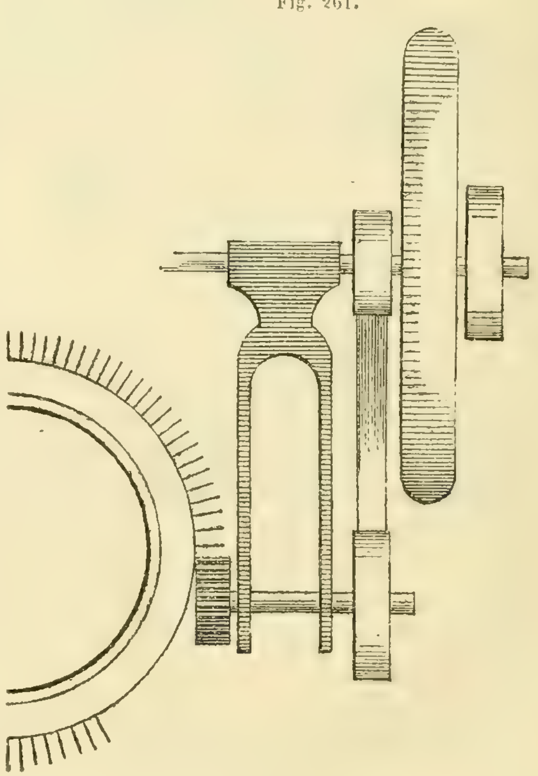


Fig. 262.

por lo cual prescindo de gran número de particularidades. Pero creo de necesidad mencionar una precaucion, ya que me he extendido más de lo que pensaba respecto de estos ventiladores hidráulicos, de los cuales solo he hablado para empezar á evidenciar lo fecundo de la compresion por medio de los foros.

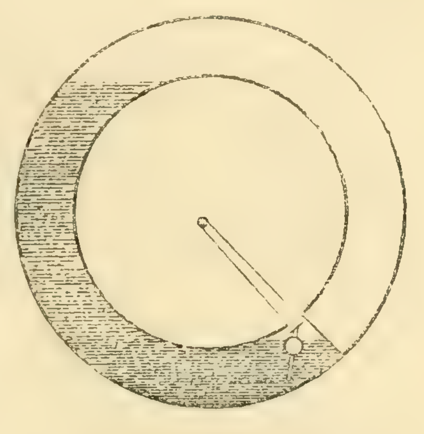


Fig. 263.

Para que en los últimos instantes de la compresion no éntre líquido en los tubos que van al eje, tendrá cada foro un flotador que, suspendido por el agua, antes de poder introducirse el gas en el tubo contíguo, cerrará una válvula, situada con este solo fin á la entrada del conducto, ó sostenida por el mismo flotador.

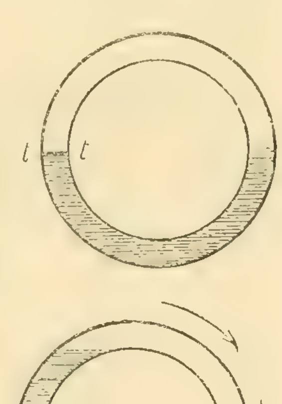
Deberá haber llaves de purga, etc.

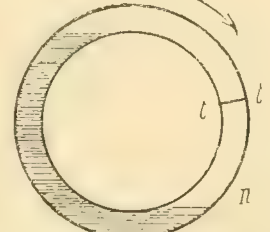
## IX.

Sin entrar en más explanaciones, ¿no se vislumbra ya el gran partido que puede sacarse de los foros, como órganos de compresion? Creo que no hay ningun otro más sencillo.

Pero antes de seguir adelante, hagamos un primer exámen.

La compresion del aire por medio de un foro, ¿pertenece, ó no, al sistema diferencial? ¿Cómo se verifica el almacenaje?




Figs. 264 y 265.

Que en la compresion por foros hay dos períodos bien distintos, es de toda evidencia. Y tambien es claro que el uno es de esfuerzos crecientes, y el otro de fuerza constante.

Desde esta primera posicion en que el tabique *tt* casi toca con el líquido compresor, hasta esta otra segunda, en que el tabique ha llegado á verificar el máximum de condensacion (pues el líquido no puede subir ya más) las resistencias del semi-anillo líquido han ido evidentemente aumentando; y, por consecuencia, los esfuerzos del motor han debido ser crecientes.

Supongamos ahora que la presion del líquido sea igual á $2^{at}$ (*fig.* 265) (cosa muy fácil con mercurio y contando con el auxilio atmosférico): claro es que, en tal hipótesis, estará á 2 atmósferas el aire contenido en *ttn*. Si entonces empieza el almacenaje, y dura

hasta que el tabique toma la posicion de la *figura* 266, los esfuerzos consecutivos del motor habrán sido constantes, puesto que la columna líquida comprimente no ha podido aumentarse ni disminuir.

Ahora bien: el tabique *tt*, para pasar de la posicion *fig.* 264 á la 265 ha tenido que caminar (segun se verá más adelante) como unos 140° (se entiende dadas ciertas dimensiones, que allí tambien despues se verán); pero, para pasar desde la posicion *fig.* 264 á la 266, esto es, para almacenar, habrá tenido que trasladarse desde 140° hasta 180°+50°=230°, ó, lo que es lo mismo, habrá tenido que andar

$$230° - 140° = 90°.$$

Fig. 266.

El período primero ha sido evidentemente diferencial, puesto que, mientras el tabique avanza comprimiendo aire, huye el líquido deprimiéndose, y deshaciendo, en parte, lo que el tabique ejecuta. En efecto, si el líquido no huyese, el tabique no necesitaria caminar más que 90° para reducir á la mitad el volúmen de la masa de aire (1); pero, como el agua se retira, tiene el tabique que seguir adelantando hasta describir un arco de 140° (dadas ciertas dimensiones), invirtiendo así en la condensacion mucho más tiempo que si el agua no se hubiese retirado ¡circunstancia en extremo atendible y ventajosa para dar de lado á la ley de Gay-Lussac!

El método, pues, de llevar á cabo las compresiones por medio de estos foros, no corresponde, verdaderamente, ni al monocilíndrico, ni al policilíndrico diferencial, ni al policilíndrico escalonado; porque en el monocilíndrico no es

---

(1) Si un semiforo movible entrase en un piston fijo sólido, perfectamente adaptable á la superficie interior del foro, el aire estaria á 2 at en cuanto el aparato hubiese girado 90°.

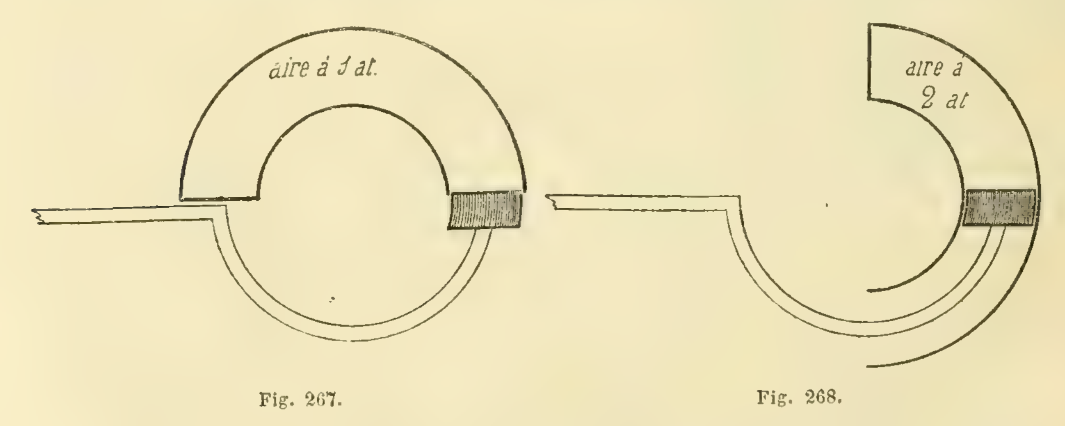



Fig. 267. Fig. 268.

Así, la condensacion sería completamente referible al sistema monocilíndrico (lo mismo que el almacenaje).

diferencial el período de los esfuerzos crecientes, ni en los policilíndricos es de más duracion el período del comprimir aire hasta $2^{atm}$ que el período del almacenar.

Con foros, pues, es diferencial la condensacion, pero, segun veremos pronto, el almacenaje corresponde al sistema monocilíndrico.

## X.

Antes de pasar adelante conviene hacer ver que este sistema de los émbolos líquidos consiste esencialmente en levantar el centro de gravedad de masas líquidas, en vez de empujar pistones sólidos para condensar gases.

Con pistones sólidos el cilindro está quieto mientras ellos se mueven.

Con émbolos líquidos la envoltura foral se mueve; y, durante el almacenaje, el líquido del semi-anillo compresor está completamente inmóvil en el espacio.

Con pistones se necesitan superficies perfectamente torneadas, ajustes delicados, buenos lubrificantes, y hay que temer los rozamientos y el consiguiente desarrollo de calor.

Con émbolos líquidos no hay que pensar en ninguno de estos obstáculos. Por tanto vale más levantar masas líquidas compresoras, que forzar pistones para hacerlos entrar en sus cilindros (1).....

Muchas veces la diferencia entre el éxito y el fracaso está en el coste de las resistencias pasivas; y, aunque en los libros todos los aparatos funcionan bien, desde luego se echará de ver que los foros de que acabo de dar una deficiente idea, son de sencillísima construccion, de efecto seguro, de reducido costo, y difíciles de deteriorar.

---

(1) Luego quedará todo esto evidenciado demostrativamente.

# CAPITULO II.

## DE LOS FOROS HELICOIDALES.

### I.

Llamo FORO HELICOIDAL á toda capacidad engendrada por el perímetro de un polígono cuyo plano esté simultáneamente sometido á dos movimientos:

Uno de rotacion al rededor de una línea trazada en el mismo plano, y exteriormente al polígono,

Y otro de translacion de esta misma línea (ya hácia la derecha, ya hácia la izquierda de su propia direccion), siendo la longitud del viaje siempre mayor (poco ó mucho) que el ancho poligonal medido por dos perpendiculares á la línea móvil, eje de la rotacion.

Si un polígono (en la *fig.* 269 es una elipse):

1.° Gira al rededor de *L L*,

2.° Y si durante la rotacion, la línea *ab* se traslada sobre *L L* hácia la derecha (ó hácia la izquierda) una cantidad > *a b* (ancho del polígono entre las perpendiculares *a* y *b*),

Fig. 269.

Resultará al fin de varias rotaciones completas un foro helicoidal (elíptico en el ejemplo); y, si el polígono fuese un círculo, el foro apareceria semejante á la hélice de un tornillo, ó á un tubo de hierro de mucha longitud, enroscado varias veces, como un alambre en un carrete.

Los foros helicoidales de que trataré en esta obra, serán todos engendrados por el giro y translacion de un cuadrado ó de un rectángulo.

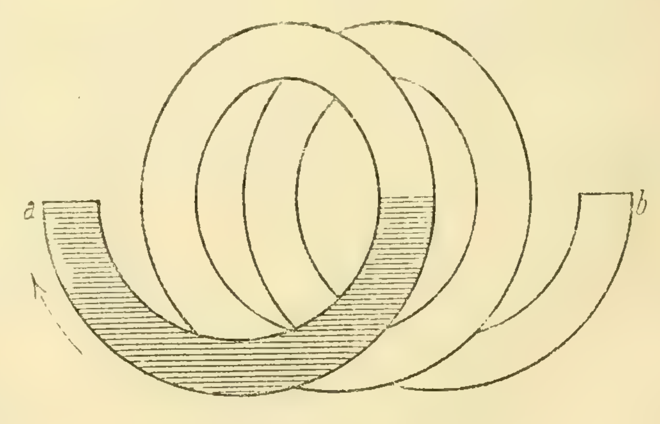


Fig. 270.

Ahora bien: si llenásemos de líquido, — por ejemplo, de mercurio, — una media espiral; y si, *mutatis mutandis*, aplicásemos á esta hélice los

organismos de entrada y salida anteriormente descritos para los foros simples (organismos que el lector debe suponer, aun cuando no estén dibujados), tendríamos un foro helicoidal compresor, equivalente á un cilindro de muchos metros de longitud, acaso imposible de ejecutar.

Suponiendo:

1.° Que esa hélice gire *dextrorsum*, es decir, como las agujas de un reloj;

2.° Que la superficie del líquido esté en comunicacion con la atmósfera por el extremo del tubo en *a;*

3.° Que el otro extremo *b* esté cerrado;

Y 4.° Que se halle lleno de aire todo el interior del tubo no ocupado por el mercurio,

Es evidente que, por causa de la rotacion de la hélice, el mercurio avanzará hácia la parte *b;* los dos niveles libres se desequilibrarán á medida que el aire se comprima; y que la diferencia llegará á ser de $0^{m},76$, cuando el aire existente en el interior ocupe la mitad del volúmen que ocupaba al empezar, si estaba entonces á la densidad normal de la atmósfera ambiente.

Habrá, pues, habido en la hélice dos períodos:

Uno de esfuerzos crecientes;

Y otro de esfuerzos constantes (si cuando el aire ha llegado á la tension de $2^{atm}$, se inicia entonces el almacenaje). Y es claro que este segundo período habrá durado más de 180°, dada la forma helicoidal.

## II.

Fácil es, pues, imaginar cuán sencillamente puede ejecutarse un compresor helicoidal, sin necesidad de superficies torneadas ni de trabajos exquisitos para el ajuste de los émbolos líquidos (que no los necesitan, como los requieren ineludiblemente los pistones sólidos).

Diez hélices que permitieran un desnivel de $1^{m}$ de mercurio, equivaldrian, rectificadas, á un cilindro de 30 y tantos metros, de imposible ejecucion, y podrian almacenar el aire á una tension de $2^{atm}$. El esfuerzo máximo sería el del almacenaje. Considero, pues, sobre manera interesante á esta segunda clase de foros; en primer lugar, no tanto precisamente para la compresion de gases, cuanto para la elevacion y eyeccion de líquidos, y en segundo lugar, porque, como se verá, ofrecen un medio fácil y nuevo en la percondensacion gaseosa para ganar en peso lo que se pierda en tiempo, sin recurrir á engranajes, siempre consumidores de potencia.

## III.

Si el desnivel en el sistema de hélices no excediera de $76^{c}$, nunca podríamos con un solo semi-anillo hidrargírico comprimir el aire más que á $2^{atm}$; y,

verificada esta compresion, sería necesario dejar ir al almacen general el aire condensado, so pena de ver levantada la columna de mercurio, y el líquido rechazado, y hasta expelido del foro, derramándose y esparciéndose en todas direcciones.

Pero evidente es que si diésemos al foro helicoidal compresor grandes dimensiones, por ejemplo, $4^{m}$ de radio, podríamos fácilmente establecer un desnivel de 760 centímetros de mercurio, lo que nos proporcionaria directamente una tension de $11^{atm}$, contando con el auxilio atmosférico.

Pero aquí naturalmente ocurre un desideratum.

¿Es posible con émbolos hidrargíricos (ya que ellos, como todos los demás émbolos líquidos, ofrecen las incomparables ventajas de no necesitar superficies de precision ni producir rozamientos sensibles), obtener tensiones de consideracion sin dar desmesuradas dimensiones á los foros helicoidales?

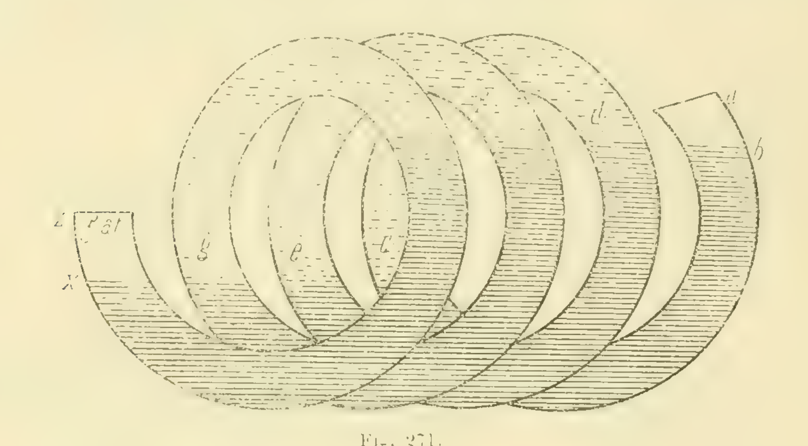


Fig. 271.

Sea la *fig.* 271, en que el orificio $z$ se supone cerrado; pero en comunicacion con la atmósfera ambiente el orificio $a$.

Además, es igual á $76^{c}$ la diferencia de niveles hidrargíricos.

La parte rayada en pleno se supone llena de mercurio.

La quebrada llena de agua.

Los espacios $xz$ y $ab$ llenos de aire: el $ab$ á la tension normal de la atmósfera ambiente, y el $zx$ á la tension de $5^{atm}$, por lo que ahora vamos á ver.

Como el mercurio pesa 13,6 veces más que el agua, ésta flotará.

Y, como el agua es incompresible (despreciemos por ahora el pequeño coeficiente de compresibilidad), los desniveles de las columnas hidrargíricas se sumarán, trasladándose su potencia de unos en otros por el intermedio del agua.

En efecto:

La columna $bc$ comprime la capa inferior de agua $c$ con la presion de $2^{atm}$ (una, la normal ambiente; otra, la que corresponde al desnivel de $0^{m},76$ entre las superficies libres hidrargíricas $b$, $c$).

La presion de $2^{atm}$ en $c$ es trasmitida por el agua hasta $d$, y á ella se agrega la del desnivel entre $d$ y $e$, que es tambien de $1^{atm}$: de modo que contra la capa de agua $e$ actúa una presion de $3^{atm}$.....

Y, así sucesivamente: la presion se eleva á $4^{atm}$ en $g$, y á 5 en el espacio $x\,z$, lleno de aire comprimido (1).

## IV.

Lo anterior es susceptible de muchas aplicaciones. Séame lícito enumerar algunas.

Por de pronto, observemos que el foro helicoidal puede y debe ser un verdadero tornillo de Arquímedes, es decir, un plano enroscado en espiral al rededor de un cilindro central, y envuelto exteriormente en otro cilindro, tal como se usaba hace algunos años en los trabajos hidráulicos, y todavía se emplea en Holanda para la elevacion de las aguas.

Supongamos, pues, un tornillo de Arquímedes de 20 circunvoluciones, cuya capacidad permita un desnivel de $2^{m}$ de mercurio. Haya mercurio en 10 de estas semicircunvoluciones y agua encima.

Sostengamos los ejes, segun marca la *figura* 272, en 2 soportes cilíndricos, huecos interiormente; y haya en ellos las válvulas y cueros embutidos que representa el dibujo, y á los cuales supondrá el lector las dimensiones convenientes para que no haya estrangulaciones, etc.

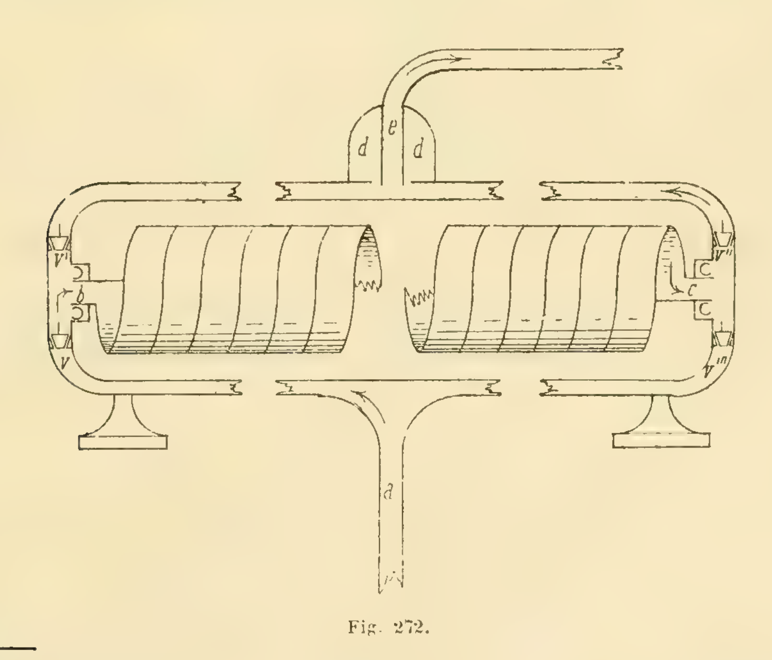



Fig. 272.

(1) Hay que descontar los desniveles negativos del agua, de poca importancia relativa cuando las espirales son pocas, etc.

Si por una rotacion conveniente caminase el mercurio desde *b* hácia *c;* si por el tubo *a* aspirase agua el aparato, en vez de aire; y si por una rotacion anterior, hecha en sentido contrario, se hubiesen llenado de agua, aspirada por el mismo tubo *a*, las espirales donde ahora no hay mercurio,

Resultaria:

1.° Que se abririan las válvulas *v* y *v''*;

2.° Que se cerrarian las *v'* y *v'''*;

3.° Que se irian llenando, al compás de la rotacion foral, con el agua aspirada de *a*, las espirales ahora ocupadas por el mercurio;

4.° Que el agua de las espirales á nuestra derecha, saldria por *c*, subiria por *v''*, penetraria en el domo ó cámara de aire comprimido *d d* (por una parte) y (por otra) se escaparia por el tubo *e*, bajo la enorme presion de $26^{atm}$.

Expulsada por *c* toda el agua, y tomada por el foro helicoidal una rotacion inversa, resultaria lo siguiente:

1.° Quedaria inactivo el aparato (no el chorro) durante todo el tiempo necesario á desnivelar inversamente las 10 semi-espirales de mercurio;

2.° Continuaria el aire comprimido en la cámara de aire *d d*, lanzando el chorro de agua;

3.° Se cerrarian las válvulas *v''* y *v;*

4.° Se abririan las *v'''* y *v';*

5.° Habria nueva aspiracion de agua por el tubo *a* y la válvula *v'''*;

6.° Y nueva expulsion del agua recogida en la rotacion anterior, la cual, por la válvula *v'*, subiria á la region del domo, para, en parte, quedar allí represada, y, en parte, salir por el tubo *e*.....

Y así sucesivamente, etc.

De este modo tendríamos una bomba aspirante é impelente, que podria elevar agua (sin rozamientos sensibles dentro del aparato) desde la márgen de un rio á lo alto de los collados vecinos; pues, siendo 10 las semi-espirales hidrargíricas susceptibles de un desnivel de $2^m$; y, transmitiéndose, por la incompresibilidad del agua intermedia, la presion de unas en otras, vienen las 10 semi-circunvoluciones á sumarse, y á ser equivalentes á una sola columna de $20^m$ de mercurio, la cual, como que este metal tiene una densidad de 13,6, es capaz de hacer equilibrio á otra columna de agua de la exagerada elevacion de

$$13{,}6 \times 20 = 272^m.$$

Esta bomba helicoidal de nuevo género podria lanzar á enormes distancias cualquier líquido extinguidor de incendios.

Tambien sería dable convertirla en terrible arma de guerra, destinándola á arrojar desde una plaza sitiada sobre las trincheras enemigas, y vice-versa, líquidos incendiarios y asfixiantes; por ejemplo, la solucion de fósforo en sulfuro de carbono.

Tambien, con apropiadas cerbatanas, podría el aire, comprimido en pocos momentos por estos poderosos aparatos, arrojar á gran distancia botes de nitroglicerina, dinamita ú otros fulminatos.

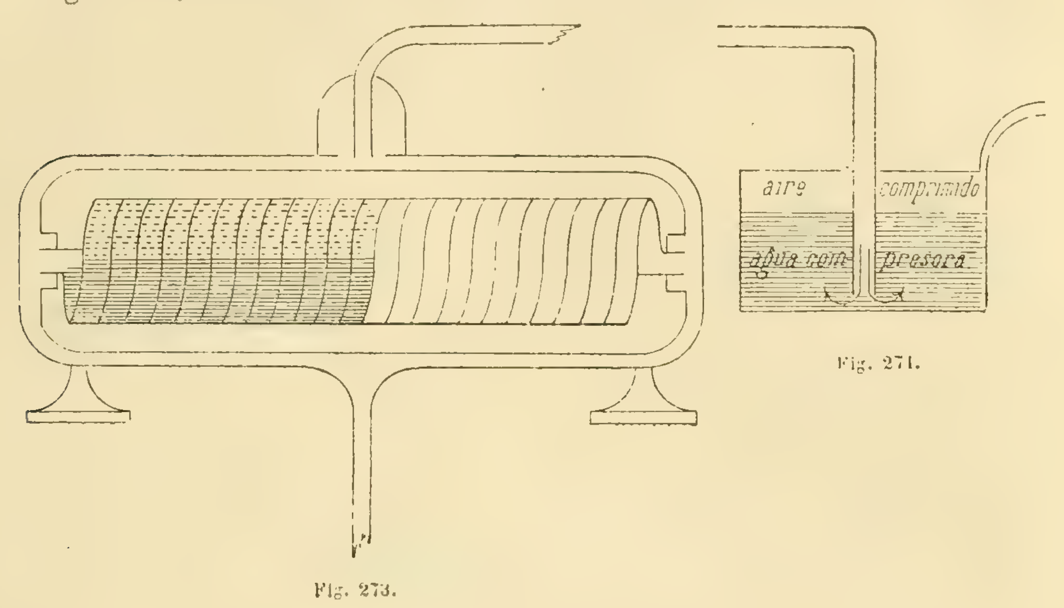



Fig. 273.

Fig. 274.

El sistema de inyectar agua en una capacidad cualquiera para hacer una especie de FUENTE de HERON de Alejandría (*figs.* 273 *y* 274) tiene muchos inconvenientes; y no es el menor la enormidad de las resistencias que deberia exigirse á los metales. Para remediar esta grave dificultad, se inyectaria el agua en tubos paralelos, situados horizontalmente, sobre los cuales se colocaria el destinado al aire comprimido. Si quisiéramos aire á $32^{atm}$, se llenarian de agua 31, y en el restante, si estaba sobre los 31, se hallaria condensado el gas á las $32^{atm}$ pedidas.

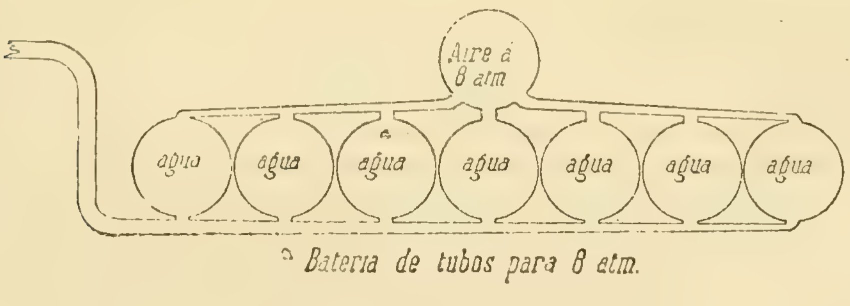



Fig. 275.

Llaves de purga, convenientemente dispuestas, servirian para la evacuacion del líquido, etc. Siendo dobles las baterías de tubos, ó triples, cuádruples, etc., podria un mismo helicoidal estar condensando aire en los vacíos, mientras los llenos hacian funcionar las cerbatanas lanzadoras de los fulminatos.

Otra aplicacion. Desde el siglo pasado propuso Bernouilli el movimiento de los buques mediante el impulso debido á una ancha vena de agua que saliese con gran presion por la popa de un buque. Hace años que un buque de la marina de guerra en Inglaterra, *the Waterwitch*, ha adoptado este género de propulsores, y los resultados no han sido desfavorables (1). Tal vez ninguna bomba pudiera ser más sencillamente propia para la navegacion por este medio, especialmente en los grandes rios, que la que acabo de describir, pues; no solo podria poner en movimiento el buque por la reaccion de un líquido sobre el agua de los mares, ó de los rios y lagos, sino por la del aire comprimido, y su expansion, si esta clase de bombas helicoidales inyectase aire por la popa, en vez de inyectar agua. La ciavoga sería muy fácil, etc., etc.

Por de contado, que cualquiera de estos foros helicoidales, se convertiria fácilmente en una preciosa máquina pneumática, si, en vez de agua, aspirase el gas contenido en un recipiente, y si en el foro la diferencia de niveles de una sola semi-circunvolucion de mercurio pudiese llegar á $0^m,76$, ó exceder alguna cosa esta dimension.

Para obtener la máquina pneumática, no se necesita verdaderamente una hélice; bastaria cualquier foro simple. Pero, á igualdad de tiempos, se efectuaria más trabajo con el helicoidal, por necesitar éste ménos cambios en el sentido de sus rotaciones.

El movimiento circular de estas bombas helicoidales tiene que ser tantas veces 360° como espirales hubiere sin mercurio; y alternativo (unas veces *dextrorsum* y otras *sinistrorsum*).

## V.

Las múltiples circunvoluciones de mercurio y agua en los foros helicoidales, dan resuelto fácilmente un problema impracticable (ya que no pueda llamarse imposible) por el sistema del foro único.

Las 10 espirales de mercurio y agua, susceptibles de un desnivel de $2^m$ en cada una (pág. 472), pueden elevar una columna de agua de $272^m$, lo mismo que podria efectuarlo el sistema de un foro único hidrargírico que tuviese $20^m$ de diámetro. Pero un foro de $10^m$ de radio, no cabría en taller ninguno, ni sería transportable, y exigiria resistencias disparatadas para asegurar su solidez. Por el contrario, medianas resistencias bastarian para el equivalente foro helicoidal,

(1) Sobre la *Waterwitch*, véanse los tomos XVIII, pág. 880; XXI, pág. 524; XXIII, páginas 609 y 617; XLVII, pág. 1040; LII, página 558 de la *Révue maritime et coloniale*.

instalable en cualquier local, y que no ofreceria dificultad séria para su translacion por las vias ó las calles. Y si todavía parecieran exageradas las dimensiones propias para establecer desniveles de $2^{m}$, ningun inconveniente habria en reducirlas, y producir, sin embargo, el mismo efecto, aumentando proporcionalmente el número de las semi-espirales de mercurio y agua.

Indudablemente no serían tantas ni tan considerables las ventajas cuando en un foro helicoidal no hubiese de funcionar más que una sola semi-espiral hidrargírica, como en el aparato de la *figura* 270.

Pero aquí puede ocurrir un problema muy interesante, antes indicado.

Supongamos un foro simple que contenga $1^{m^3}$ de aire en la parte no ocupada por el mercurio antes de empezar la compresion, y que sea capaz de un desnivel igual á $1^{atm}$ efectiva ($0^{m},76$).

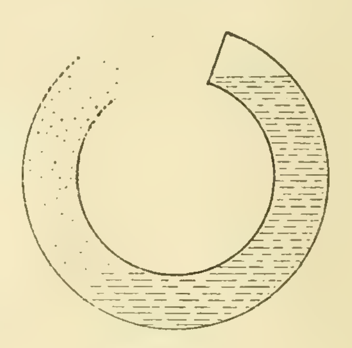
Supongamos tambien un foro helicoidal capaz del mismo desnivel: admitamos que no haya en este aparato más que una sola semi-espiral de mercurio, y que el foro tenga tantas circunvoluciones cuantas sean necesarias para que su total cabida sea asimismo igual á $1^{m^3}$ de aire á comprimir.

El foro simple tiene, pues, para el aire atmosférico, destinada igual capacidad que todas las circunvoluciones existentes sin mercurio en el foro helicoidal; y, si el foro simple, por medio de perfectos engranajes cuyas resistencias pasivas puedan despreciarse, invierte en la condensacion y el almacenaje de su metro cúbico de aire el mismo tiempo que el helicoidal en la condensacion y el almacenaje del suyo, entonces no habremos ganado ni perdido nada, considerada la cuestion desde el punto de vista kilogramétrico. Pero, si bien por una parte el foro helicoidal presenta más dificultades de construccion que el foro simple, es por otra parte de toda evidencia que el foro simple necesita una masa de mercurio tantas veces mayor que el foro helicoidal, como espirales tenga éste. El peso del metal líquido fatigaria los soportes, y aumentaria las resistencias pasivas muchísimo más en el foro simple que en el de las hélices.

El tornillo de Arquímedes, cuando solo existe una semi-espiral hidrargírica en un foro de muchas circunvoluciones, resuelve, pues, elegantísimamente, sin necesidad de engranajes, el problema de hacer, á costa de tiempo, el mismo trabajo que una mucho mayor masa mercurial ejecutaria por el sistema del foro único, en tiempo proporcionalmente menor. Por lo que ahorra de engranajes, resistencias pasivas y calor, es, pues, un preciosísimo recurso el foro helicoidal simple, ó bien el compuesto de varias columnas alternadas de mercurio y agua, caso de anhelarse la lentitud en la marcha del foro único.

Cuando las semicircunvoluciones de mercurio y agua se destinan á bomba aspirante é impelente de cualquiera clase de líquidos, entonces solo se necesita una rotacion de 90° para que las semi-espirales compresoras cambien el sentido de su giro.





Figs. 276 y 277.

En efecto, cuando, dada la posicion de la *figura* 276, ha terminado un foro helicoidal de expulsar todo el líquido, no vuelve á continuar su trabajo impelente con toda la fuerza utilizable debida á su máxima diferencia de niveles, hasta que ha llegado á tomar la posicion de la *fig.* 277, simétricamente inversa. Como los líquidos son prácticamente incompresibles, actúan unos sobre otros como si fuesen cuerpos rígidos ó sólidos. No pueden, pues, estar inactivas estas bombas más que durante 90°.

No sucede, por cierto, esto mismo con los gases, porque los gases ceden, si bien ménos cada vez, hasta el instante en que su resistencia es tal, que desquilibran á su máximo las semi-circunvoluciones hidrargíricas ó hidráulicas.

Permaneciendo, pues, tan corto tiempo inactivos los foros helicoidales, cuando con múltiples columnas es mercurio el líquido compresor, y agua, ú otro líquido, lo aspirado é impelido, resulta que estos tornillos de ARQUÍMEDES son, colocados con el eje horizontal, inmejorables aparatos para usados como bombas aspirantes é impelentes.

Lo dicho del agua es aplicable á cualquier otro líquido sin afinidad por el mercurio.

## VI.

El mercurio es caro, y no hay otro líquido de análoga densidad con que reemplazarlo. Es escaso, además. Almaden solo produce como unas 1000 toneladas anualmente. ¿No serán el precio y la escasez sérios inconvenientes contra los émbolos hidrargíricos para los foros simples, ó bien hidrargírico-hidráulicos para los foros helicoidales?

Lo son; y por eso me apresuro á decir que estos émbolos no deben ser de mercurio solamente, sino que, además, debe haber flotando en el mercurio un semi-anillo, ó una semi-espiral, ó muchas semi-espirales (segun los casos) de plomo envuelto en hierro (precaucion necesaria para que el plomo no se amalgame con el mercurio, el cual no moja el hierro) (*fig.* 278).

Las rayas horizontales representan mercurio. Pequeñitas roldanas guiarian el plomo, y evitarian los rozamientos. REDUCIENDO Á UN MÍNIMUM el espacio ocupado por el mercurio, el costo se disminuiria en su mayor parte, ahorrándose tanto metal líquido como el plomo desalojara, sin menoscabo alguno de la

buena marcha del aparato. Lo que sucederá es que los foros habrán de ser algo mayores, por ser 13,6 la densidad del azogue, y solo 11,33 la del plomo (1). Si

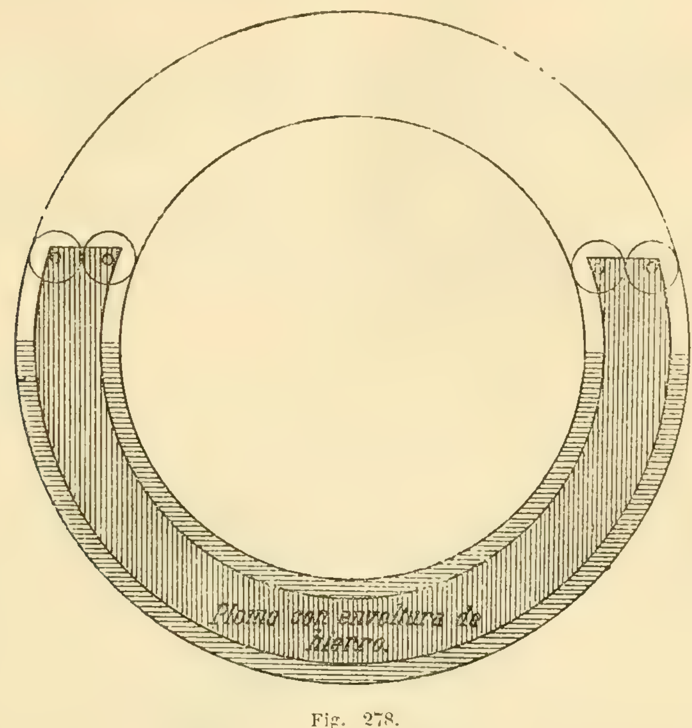



Fig. 278.

para contrarestar con mercurio la presion atmosférica normal se necesita una columna de $0^m,76$; para contrarestarla con plomo será precisa otra de $0^m,91$.

(1) Si el plomo es batido, llega casi á 11,39; más exactamente, 11,388.

# APÉNDICE Á LOS CAPÍTULOS I Y II.

Aunque puramente cinemática, y hasta cierto punto de carácter casi técnico, la cuestion del movimiento circular alternativo de los foros helicoidales me parece digna de soluciones *ad hoc.*

Las dos siguientes de entre varias que han acudido á mi imaginacion, me parecen de algun interés.

I.

Supongamos un foro helicoidal hidrargírico.

Una rueda, dentada, de doble efecto epicicloidalmente, que rodee todo el foro, perpendicularmente al eje del mismo, estará formada de dos secciones: la una, fija al foro é igual á casi toda la circunferencia; la otra, movible entre guias paralelas al eje del foro, é igual á lo que falte á la parte fija para completar 360°.

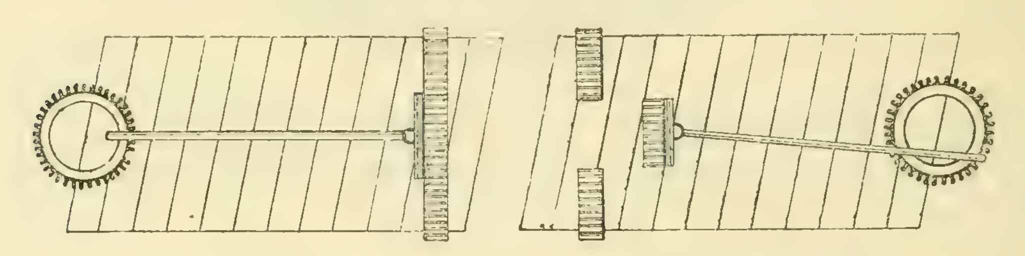


Fig. 279. Fig. 280.

La seccion movible saldrá de su puesto á virtud de la accion de una biela, gobernada por una manivela perteneciente á otra rueda dentada, cuyo eje estará implantado en el mismo foro helicoidal, perpendicularmente á la superficie foral externa (ó bien al eje del foro).

Mientras la manivela y la biela estén en línea recta, hará girar al foro solo en un sentido, el piñon de un volante, semejante á los

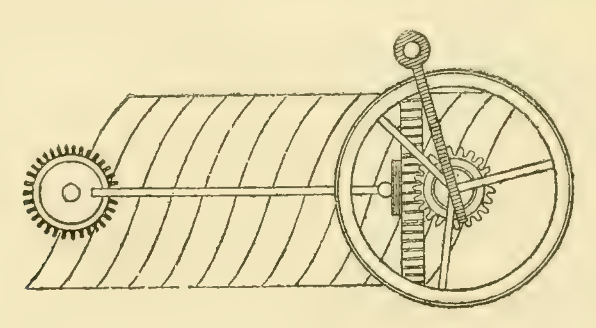


Fig. 281.

de las *figs.* 280 *y* 281, actuando únicamente durante todo ese tiempo sobre la derecha ó sobre la izquierda de los dientes doblemente epicicloidales; pero pasará á actuar sobre el otro lado cuando la parte móvil se desvíe, segun representa la siguiente *fig.* 282.

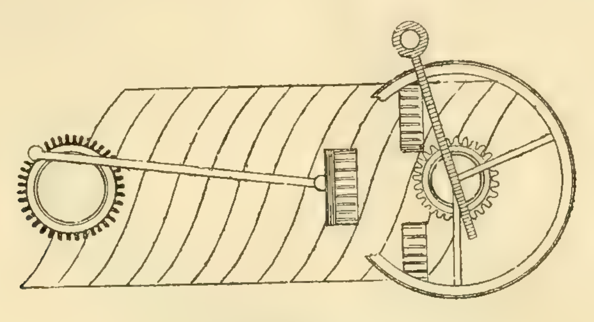


Fig. 282.

Y si, cuando el piñon haya pasado (á la izquierda en nuestro dibujo) vuelve la seccion móvil á colocarse en el plano mismo de la fija, entonces ese piñon hará girar en sentido inverso al foro helicoidal durante todo el número de vueltas en que no deje paso al piñon la seccion movible.

Entendido esto, queda aún por manifestar cómo se pondrán oportunamente en accion la manivela y la biela.

Un piñon de ángulo estará rígidamente implantado en el eje del foro helicoidal, girando necesariamente en el mismo sentido que él *fig.* 283.

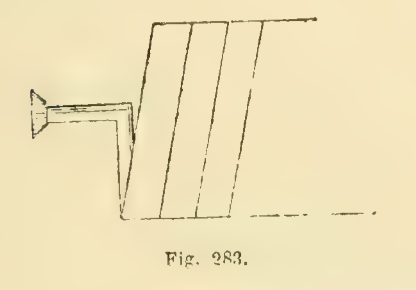


Fig. 283.

Con este piñon engranará una rueda, de ángulo asimismo, construida con tal número de dientes, que la rueda dé solo una vuelta, mientras el piñon angular dé tantas como en el foro helicoidal hubiere circunvoluciones sin mercurio.

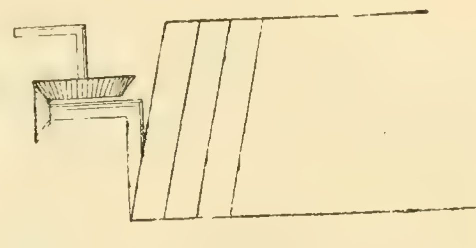


Fig. 284.

Al eje de esta rueda angular habrá unido un sector, con el número de dientes necesario para hacer girar 180° la ruedecita de la manivela y la biela que gobiernan la seccion movible; pero esto solamente cuando llegue el momento de engranar. Véase lo mismo en otra posicion.

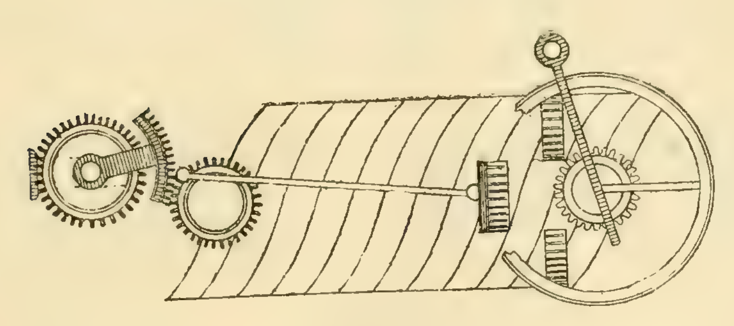


Fig. 285.

A poco de haberse verificado el engranaje, como el movimiento del sector y el del foro son de direccion contraria, dejará paso con suma rapidez la seccion móvil al piñon del volante; el piñon se trasladará al otro lado de la seccion fija; tomará este foro helicoidal una rotacion inversa; hará el sector que la ruedecita de la manivela y la biela coloquen la seccion móvil en su puesto, en el mismo plano de la seccion, fijamente unida á la superficie exterior del foro; y acto contínuo se desengranará, para no volver á mover la rueda de la manivela sino cuando necesite volver á cambiar de posicion el piñon del volante, á fin de hacer girar en direccion contraria al foro helicoidal (1).

## II.

Supongamos ahora que el piston no es puramente hidrargírico, sino que contiene, además, una ó varias semi-espiras de plomo revestido de hierro.

En tal caso podemos disponer lo siguiente.

Rodeemos el foro de dientes epicicloidales de doble efecto, como antes; pero, en vez de una sola seccion fija, dispongamos dos diametralmente opuestas, cada una gobernada por una excéntrica desde cada uno de los extremos *A* y *B* del foro.

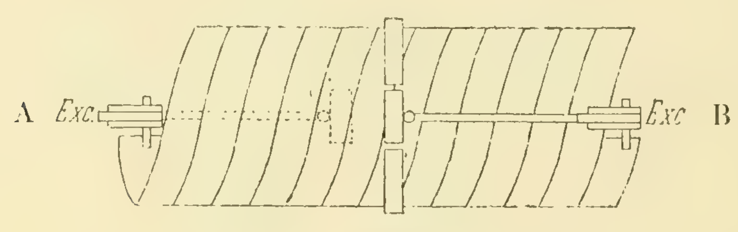



Fig. 286.

Si el eje de la excéntrica penetra en el interior del foro (*fig.* 287); si á la parte que haya entrado en el mismo se le ha dado la forma de un tornillo de paso muy largo; y si en la cabeza de la correspondiente semi-espira de hierro y plomo se ha horadado una tuerca que ajuste en el trozo de tornillo de la excéntrica, es claro que, cuando, acercándose la semi-espira al extremo del foro, se ponga en conexion la tuerca con el tornillo, éste girará, y con él la excéntrica, la cual desviará la parte móvil del engranaje doblemente epicicloidal, y permitirá el paso del piñon. En cuanto el piñon, despues de su tránsito al otro lado del engranaje, cambie el sentido de la rotacion foral, la semi-espira de hierro y plomo descenderá por su propio peso, haciendo girar en sentido inverso la excéntrica, la cual colocará la parte móvil en su sitio, amordazándola al propio tiempo, si la excéntrica por sus dimensiones, se pára en su punto muerto.

Ahora bien: si por el otro lado del foro existe un mecanismo semejante, la rotacion foral cambiará análogamente.

Lo mismo sucederia si la tuerca estuviese en el eje de la excéntrica y el tornillo en el extremo de la semi-espira de hierro y plomo.

(1) Claro es que si de nuevo pareciese atrevida la idea de un volante oscilatorio, podria adoptarse la disposicion representada en la *figura* 262.

Las figuras de este párrafo no están en modo alguno á escala: son únicamente símbolos que indican el método de movimiento de la seccion móvil, ciertamente susceptible de modificacion.

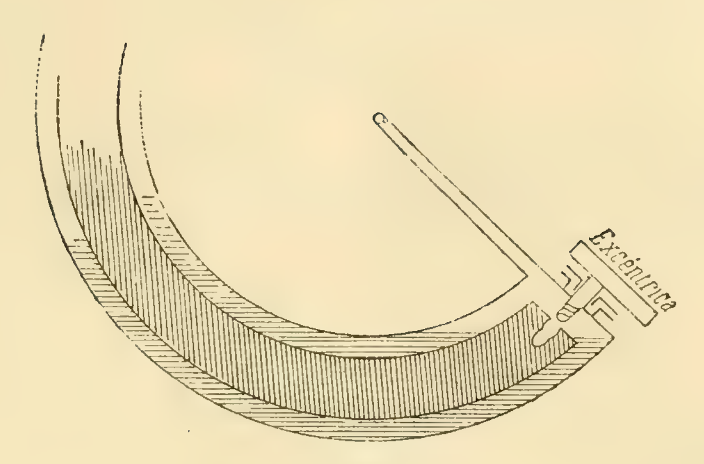



Fig. 287.

III.

Tambien es de notar que, aun cuando no haya dentro del foro ninguna semi-espira sólida, se puede desde dentro del foro determinar el movimiento de las excéntricas.

En efecto, sea solamente líquido el émbolo foral: si en el extremo del foro hay un flotador provisto de un tornillo que ajuste en el eje de la excéntrica, este flotador ascenderá no bien

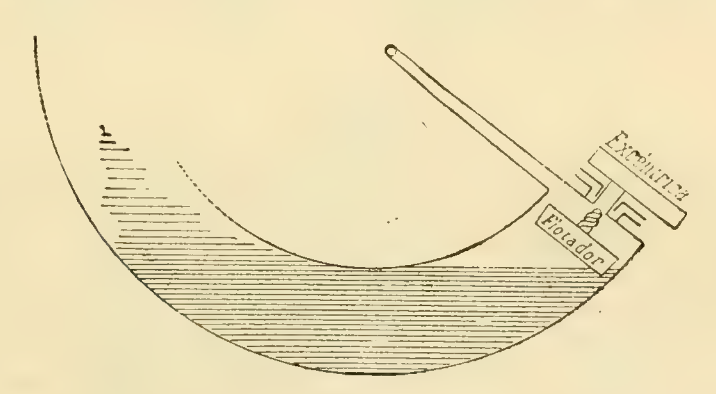



Fig. 288.

llegue suficiente líquido hasta él, el tornillo moverá la tuerca, ésta la excéntrica, y la excéntrica la correspondiente seccion móvil del rodaje doblemente epicicloidal, dándose paso así al piñon del volante, que ha de cambiar el sentido de la rotacion.

El lector, por supuesto, habrá imaginado las guias del flotador, no dibujadas, la necesidad de paso muy prolongado en los tornillos y en sus tuercas, etc.

## IV.

Pero como la CINEMÁTICA siempre aspira al MOVIMIENTO CIRCULAR CONTÍNUO, ocurrirá desde luego la cuestion; ¿cómo pudiéramos dar de lado en los foros al movimiento alternativo?

¿No cabe animarlos de una rotacion contínua?

Imaginemos un foro cuadrado, como indica la *figura* 289,

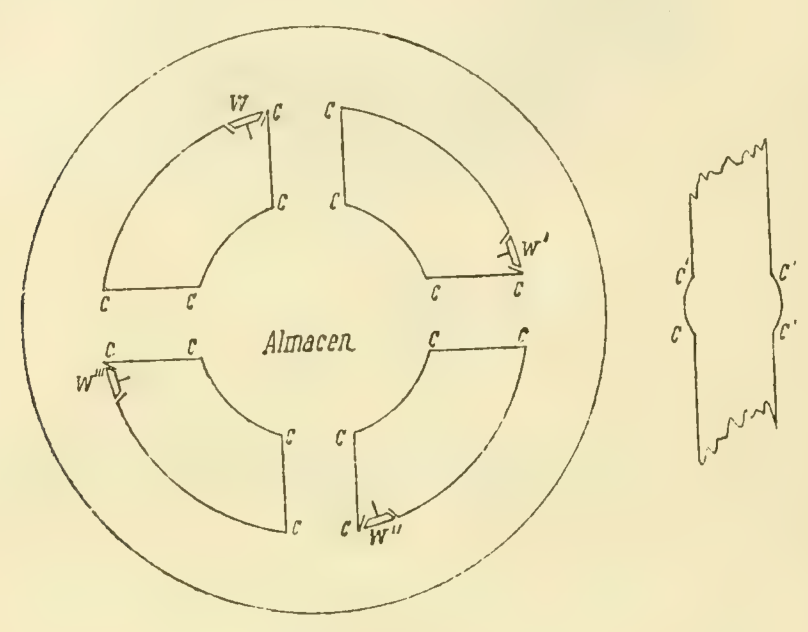



Fig. 89.

*cccc*....., son cuatro cilindros que lo cortan, y que, por consiguiente, aparecen segun *c'c'c'c'* cuando se mira de canto el foro, esto es, cuando la visual es perpendicular al centro del eje de la rotacion.

No hay tabique ninguno que por ahora interrumpa la comunicacion entre el interior del foro y el almacen;

y el almacen es un cilindro ancho, cerrado por sus dos bases y cortado por los *cccc*.

Hay, además, cuatro válvulas *ww'*....., que se abren de fuera adentro, y por las cuales entrará en el foro el aire de la atmósfera á medida que sea necesario para la alimentacion.

Como despues se echará de ver cuando se trate de la CONJUGACION FORAL, es de apetecer que la alimentacion se verifique lo más cerca que sea posible del centro de la rotacion; pero, para el caso de estos foros simples no conjugados, convendria desde luego evidentemente la alimentacion por el exterior. En tal caso las válvulas *w*, *w'*..... estarian como representa la *figura* (aun para el caso de la conjugacion de foros simples, podria verificarse por el exterior la alimentacion mediante disposiciones muy fáciles de imaginar).

Ahora bien: en los cilindros *cccc* juegan 4 pistones, conjugados de 2 en 2, de tal manera que sus varillas no se estorben (para lo cual bastará colocarlas excéntricamente á los ejes geométricos de cada 2 cilindros).

Y en el foro existe, además, una semi-espira de plomo forrada en hierro, cuyos extremos terminan en unas como cuñas, para que determinen automáticamente un movimiento rectilíneo alternativo en los émbolos conjugados cuando llegue el momento conveniente.

Cada émbolo tiene en su interior una vál-

vula *v*, *v'*, que se abre desde el foro hácia el almacen (*fig.* 290).

Entre la semi-espira y las paredes del foro hay, por supuesto, mercurio.

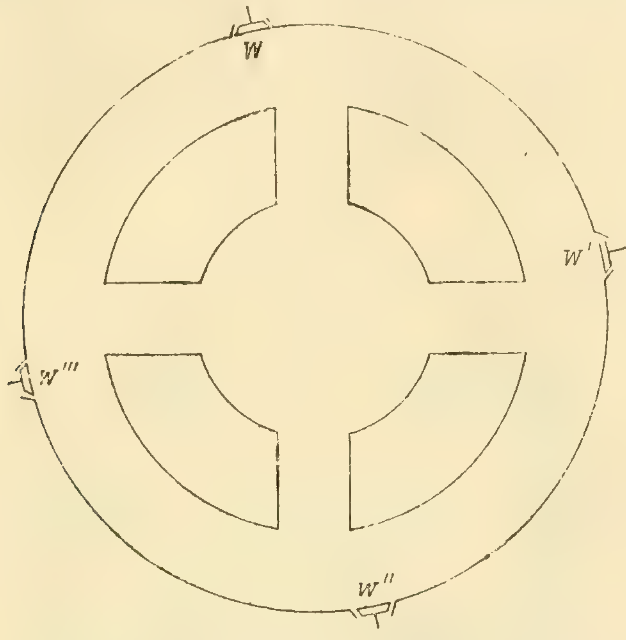



Fig. 290.

En la *figura* 291 el foro tiene rotacion *dextrorsum*. Por la válvula *w* entra al interior el aire de la atmósfera ambiente. El aire comprimido abre la válvula *v*, y por ella y el correspondiente conducto, no dibujado, pasa este gas al almacen: las demás válvulas están

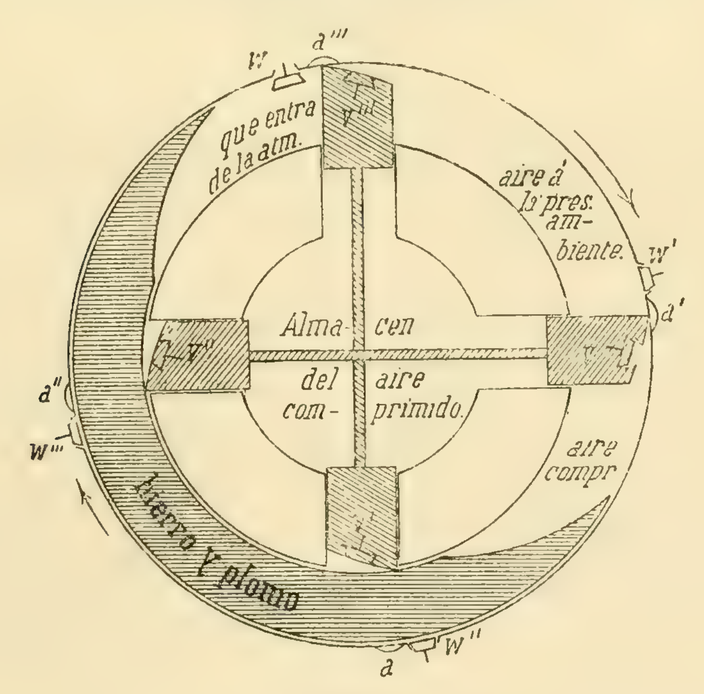



Fig. 291.

todas cerradas por hallarse solicitadas de presiones superiores á las que tenderian á abrirlas. (La *v'* únicamente está solicitada por presiones iguales). Y, como la semi-espira de hierro y plomo puede apoyarse contra espigas ó palanquillas (no dibujadas) de las válvulas que han de estar cerradas, resultará que éstas incomunicarán herméticamente los correspondientes departamentos. (Para facilitar y asegurar la hermeticidad de los cilindros puede haber (*fig.* 292) cavidades en *a*, *a'*, *a''*, *a'''*, donde exista un pequeño almohadillado de caoutchouc ó gutta-percha.....

Continuando la rotacion del foro, la cuña ó plano inclinado *p* penetra en el hueco que al efecto deja el émbolo (donde está la válvula *v*), lo saca de su posicion, y lo lleva suavemente hácia el almacen. No hay sacudidas ni movimientos bruscos, por estorbarlo el otro plano *p'*, etc.

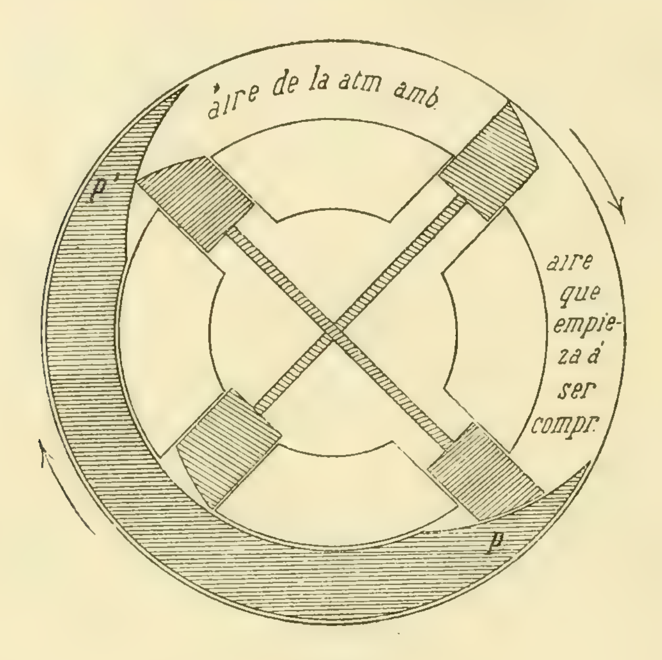



Fig. 292.

Como se ve, este sistema ofrece medios seguros de utilizar el movimiento circular contínuo para los foros simples, y usar émbolos hidrargíricos económicamente, por ser posibles las semi-espiras de hierro y plomo. Pero el conjunto necesita 8 válvulas de precision, 4 cilindros delicadamente torneados (ó pistones muy bien hechos, si se prefiriesen cueros embutidos), una semi-espira de hierro y plomo, de forma exactamente circular, y además roldanas y otros órganos secundarios (no dibujados por fáciles de imaginar); pues solo así se evitarán, por un lado, rozamientos, y se asegurará, por otro, el juego de las válvulas.

La industria hoy domina todas estas dificultades; pero todavía los órganos de precision deben evitarse, á ser posible, por onerosos y deteriorables con el uso de muy breves espacios de tiempo.

Sin embargo, parécenme, con todo, de suma utilidad para multitud de casos, tanto los foros simples de rotacion alternativa como estos hidrargíricos de rotacion contínua:— aquellos por su extremada baratura; éstos por su reducido emplazamiento; — pero ya veremos que, sin amenguar en nada tan buenas cualidades, muy atendibles y preciosas en determinadas circunstancias, obvian los FOROS CELULARES y con mayor perfeccion los FOROS BRANQUIALES toda esa profusion de inconvenientes, siempre que no se quiera economizar mercurio ni se trate de ahorrar sitio; y, en toda ocasion, si se utilizan para la compresion otros líquidos más abundantes y baratos que el azogue.

# CAPITULO III.

## TEORÍA DE LOS FOROS SIMPLES Y DE LOS HELICOIDALES.

## SECCION I.

### Almacenaje del aire con foros simples y helicoidales.

I.

El período del almacenaje es el que exige en la compresion con foros el máximo esfuerzo del motor; y, por tanto, es sin duda alguna más necesario de conocer que el período prévio de la condensacion.

Empecemos, pues, por el segundo período, atendida su importancia; y, puesto que el sistema monocilíndrico nos ha servido de comparacion respecto de los sistemas hasta ahora examinados, veamos de nuevo qué puntos de contacto tiene con él el almacenaje que se realice con los foros puestos á discusion.

II.

El centro de gravedad de una superficie cilíndrica, cerrada ó abierta, pero cuyo desarrollo sea rectangular, se encuentra evidentemente cuando el eje del cilindro está horizontal en un plano vertical que pase por el centro de ese eje.

Supongamos ahora dividido en capas cilíndricas y concéntricas, de espesor infinitesimal, el líquido de nuestros foros, cuando comprime un gas. Las intersecciones de estas capas con el anterior plano vertical serán áreas semianulares.

Supongamoslas tan estraordinariamente estrechas que casi se confundan con semi-circunferencias.

Y los centros de gravedad de estos arcos se hallarán evidentemente en el mencionado plano vertical.

Teorema.

Los centros de gravedad de estas capas líquidas se encuentran colocados unos debajo de otros, en una misma línea vertical.

Sean las curvas $mm'$, $nn'$, $oo'$..... estas capas cilíndricas concéntricas del líquido compresor (*fig.* 293).

Si los niveles superior é inferior equidistan del centro, los elementos anulares de dichas capas cilíndricas perpendiculares al eje se confundirán con semi-circunferencias.

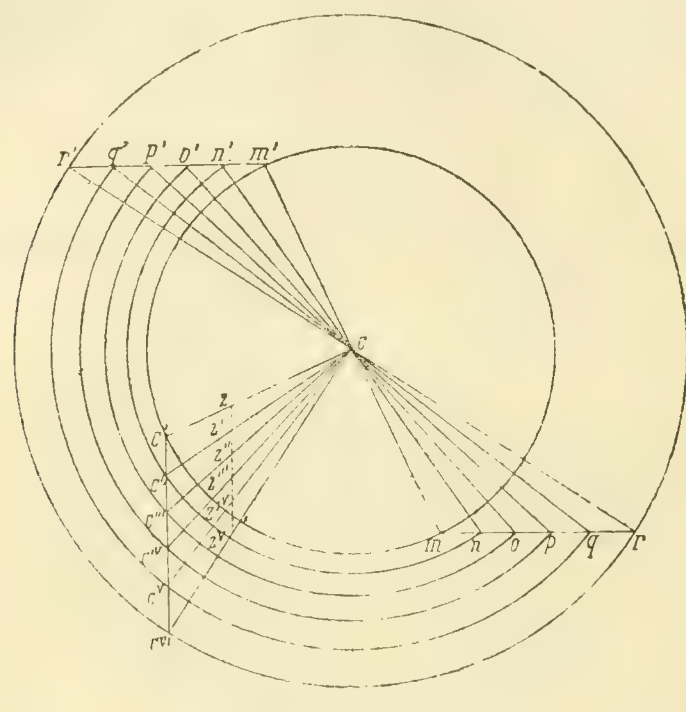



Fig. 293.

El centro de gravedad de una semi-circunferencia se encuentra sobre la perpendicular á su diámetro, próximamente á los 0,64 del radio, contando desde el centro de la curva (1).

Luego el centro de gravedad de la semi-circunferencia $m\,m'$ se hallará sobre $c\,c'$ (perpendicular al diámetro $m\,m'$) á los 0,64 del radio $c\,c'$, contando desde $c$:

---

(1) En efecto; si $l$ designa la longitud de un arco, $c$ su cuerda, y $a$ la distancia desde el centro hasta esta cuerda; y si $r$ es el radio del círculo, la abscisa $x_1$ del centro de gravedad del arco estará representada por la fórmula

$$x_1 = \frac{2r}{l}\int_a^r \frac{x\,dx}{\sqrt{r^2 - x^2}} = \frac{2r}{l}\sqrt{r^2 - a^2} = \frac{rc}{l}:$$

Y si el arco es media circunferencia, el

$$\text{centro de gravedad} = \frac{1 \times 2}{\pi} = \frac{2}{3,141592653590} = 0,636619772.$$

Luego el centro de gravedad de $n\,n'$ se hallará sobre $c\,c''$ (perpendicular al diámetro $n\,n'$) á los 0,64 del radio $c\,c''$.

Luego el centro de gravedad de los arcos $oo'$, $pp'$ $qq'$....., se hallará respectivamente á los 0,64 de las perpendiculares $c\,c'''$, $c\,c^{\text{IV}}$, $c\,c^{\text{V}}$..... á los diámetros $o\,o'$, $p\,p'$, $q\,q'$.....

Luego estos centros se hallarán en un plano vertical que pase por el centro del eje del cilindro, y serán los puntos $z$, $z'$, $z''$, $z'''$, $z^{\text{IV}}$,..... si

$$c\,z = 0{,}64 \text{ de } c\,c' \,;$$
$$c\,z' = 0{,}64 \text{ de } c\,c'' \,;$$
$$c\,z'' = 0{,}64 \text{ de } c\,c''' \,;$$
$$c\,z''' = 0{,}64 \text{ de } c\,c^{\text{IV}} \,;$$
$$c\,z^{\text{IV}} = 0{,}64 \text{ de } c\,c^{\text{V}} \,;$$
.... .............

De modo que, para que el TEOREMA sea verdadero, se necesita que los puntos $z$, $z'$, $z''$..... estén en una misma recta, y que esta línea sea vertical.

Ahora bien: la proposicion sería evidente, si probáramos que el triángulo $c\,c'c^{\text{VI}}$ es igual al $c\,m\,r$ (ó bien á su opuesto por los vértices $c\,m'r'$), porque, entonces, estando los puntos $m$, $n$, $o$, $p$, $q$, $r$..... en línea recta horizontal, tendrian que estar en línea recta vertical los puntos $c$, $c'$, $c''$, $c'''$....., y, por consecuencia, sus homólogos $z$, $z'$, $z''$, $z'''$...... centros de gravedad, respectivamente, de los arcos $m\,m'$, $n\,n'$, $o\,o'$.....

Pero, por construccion,

$c\,c'$ es perpendicular al diámetro $m\,m'$,
y $c\ c^{\text{VI}}$ al diámetro $r\,r'$;
luego ángulo $m\,c\,r =$ ang $c'c\,c^{\text{VI}}$;
y, como $m\,c = c'c$, y $r\,c = c^{\text{VI}}c$

por radios de sus respectivos círculos, resulta que son iguales los triángulos $c'c\,c^{\text{VI}}$ y $m\,c\,r$.....

Luego, como queríamos demostrar, los centros de gravedad de las capas cilíndricas de espesor infinitesimal, concéntricas, de nuestros foros, caen unos debajo de otros en una misma línea vertical.

Este TEOREMA es general, é independiente de la forma del polígono generador del foro: por consiguiente es aplicable tanto á los foros que estamos estudiando (los cuales son galerías intercilíndricas), cuanto á los foros circulares, elipsoidales, etc.

En efecto, siempre habrá un elemento semi-anular, que se confundirá con

una semi-circunferencia, y por el cual pasará el centro de gravedad de la capa elemental cilíndrica á que corresponda.

Luego, etc.

Ahora bien: ¿cuánto dista esta vertical del diámetro vertical del foro?

III.

LEMA.

Si dos líneas $L$ y $l$ forman ángulo recto;

Si es $r$ la razon de la mayor á la menor;

Y si, estando $L$ vertical y $l$ horizontal, gira el ángulo recto al rededor de su vértice $o$, tomado como centro, resultará:

1.° Que cada línea describirá ángulos iguales en tiempos iguales;

Y 2.° Que será tambien $r$ la razon de los senos correspondientes á los ángulos descritos en el mismo tiempo:

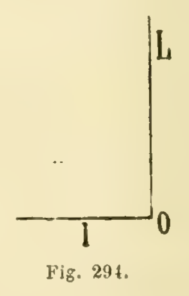


Fig. 294.

$$\text{Así,}\quad \frac{b\,b}{b'b'} = r;\ \frac{a\,a}{a'a'} = r, \text{ etc. (1).}$$

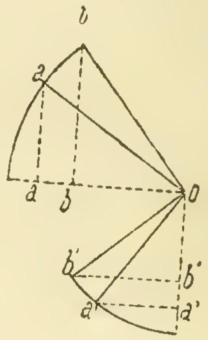


Fig. 295.

Por manera que, si $l = 0{,}64 \times L$, todos los demás senos $a'a'$, $b'b'$ serán $0{,}64 \times a\,a$; $0{,}64 \times b\,b$.

TEOREMA.

La vertical de los $z$, $z'$, $z''$, $z'''$....., distará siempre del diámetro vertical del foro, 0,32 de la diferencia de niveles.

En efecto:

Dada una semicircunferencia, cuyo diámetro esté vertical, el centro de gravedad se hallará, como sabemos, á los $\frac{64}{100}$, contados desde el centro hácia la concavidad de la curva; tal como en $z$.

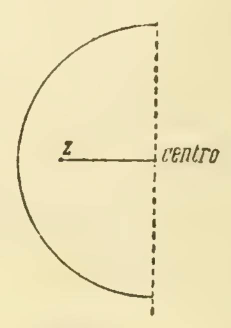


Fig. 296.

Y, dado un foro en su máxima diferencia de niveles, no habrá que calcular toda la línea de los $z'$, $z''$, $z'''$.....; bastará con calcular $z$, puesto que los $z'$, $z''$, $z'''$..... caen debajo de $z$ en la misma vertical.

En este caso, pues, la línea de los $z$ distará, del diámetro vertical del foro, 0,64 de la longitud del radio; ó bien 0,32 de la diferencia de niveles, toda vez que esta di-

(1) Los triángulos $b\,b\,o$ y $b'b'o$ son semejantes por tener iguales sus ángulos: Luego $\frac{b\,o = L}{b'o = l} = r = \frac{b\,b}{b'b'} = \text{etc.}$

ferencia, en el caso máximo, es igual al diámetro de la capa cilíndrica de radio mínimo.

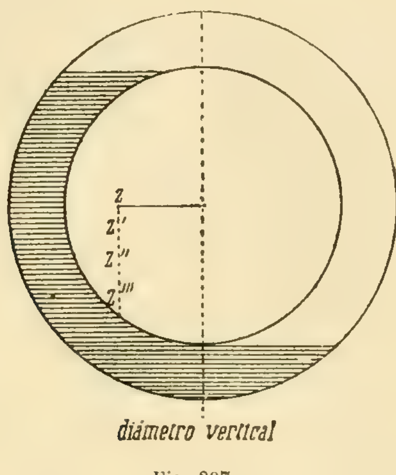



Fig. 297.

Sea ahora la misma circunferencia en otra posicion.

$z$ se hallará en la perpendicular al diámetro á los 0,64 del radio, tal como indica la *figura* 297.

Y en el foro que corresponda á la posicion de esta semi-circunferencia *(figura* 298), distará del diámetro vertical la línea de los $z'$, $z''$, $z'''$,... lo que diste el punto $z$ del mismo diámetro vertical.

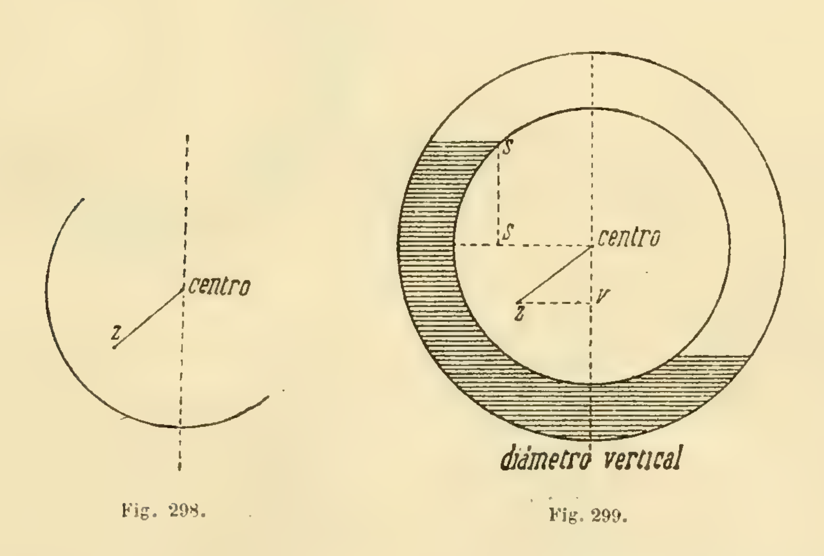



Fig. 298.

Fig. 299.

Pero $z$ distará del diámetro vertical la longitud $zv$: y como $zv$, segun el

lema anterior, es 0,64 del seno $ss$, resulta que $zv$ es igual á 0,32 de la diferencia de niveles, por ser esta diferencia $= 2 \times ss$ (1).

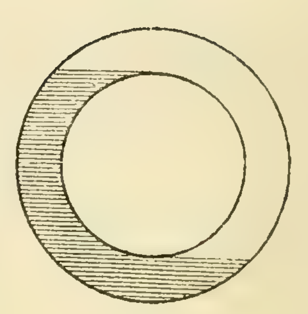


Fig 300.

La diferencia de niveles es, pues, doble del seno de la capa líquida cilíndrica de radio mínimo en cada foro: ó, de otro modo, la distancia entre verticales, es funcion del seno correspondiente á la capa cilíndrica de radio mínimo; igual, por consiguiente en todo caso á 0,32 de la diferencia de niveles (2).

Desde luego se habrá echado de ver que un foro no puede almacenar el aire comprimido más que á una sola tension máxima, lo cual ocurre cuando las superficies libres del líquido compresor se ponen tangentes al cilindro interior del foro por arriba y por abajo á la vez (*fig.* 301).

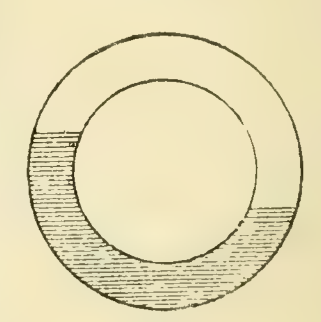


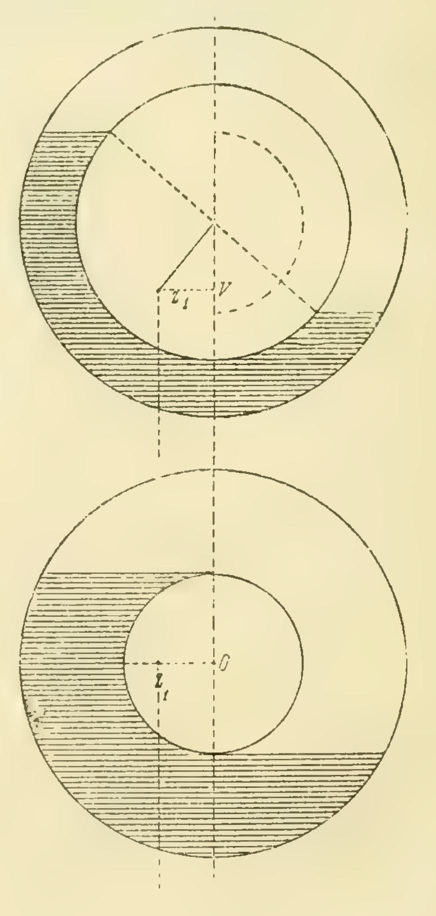
Fig. 301.

Pero es claro que el almacenaje puede verificarse por el mismo foro á infinidad de tensiones, intermedias entre la máxima y la inicial de la atmósfera ambiente; por ejemplo, como representa la *fig.* 302.

Con estos antecedentes, evaluemos el peso de la vertical de los centros de gravedad, ó sea de la línea de los $z$, $z'$, $z''$, $z'''$...

## IV.

Si unimos rígidamente al eje del foro una polea cuyo radio sea igual á la distancia entre verticales (esto es, entre la verti-




Figs. 302 y 303.

---

(1) Esto mismo se percibirá intuitivamente, suponiendo que, en vez del foro dado, cuya diferencia de niveles $D$ no es la máxima, tengamos otro foro imaginario en el cual esa misma $D$ sea la diferencia máxima posible.

En efecto, si en lugar del foro *(tal)* tuviésemos el foro *(cual)*, es claro que, segun lo dicho anteriormente, la línea vertical de los $z$ resultaria en $Z_1$, en donde la distancia horizontal $Z_1O$ es enteramente igual á la correspondiente $Z_1V$ en el otro foro (*fig.* 302).

(2) 0,32 es una aproximacion grosera. Con un error menor que 0,00001, es igual á 0,3183. Y con otro algo mayor que 0,0000001, es igual á 0,31831. Con un error insignificante es $=$ 0,318309886.

cal del foro (pág. 455, nota) y la vertical de los $z$, $z'$ $z''$,.....) ó, lo que es lo mismo, cuyo radio sea $= 0,32$ de la diferencia de niveles; y, si suspendemos de esa polea convenientemente un peso igual al peso del líquido que ocupa la capacidad del semiforo, entonces el aparato quedará teóricamente en equilibrio. Un pequeño esfuerzo adicional producirá el almacenaje.

Pero, segun sea la tension á que almacenemos, variarán naturalmente los radios de estas poleas, puesto que las diferentes tensiones dependen de las diferencias de niveles. Únicamente permanecerá idéntico en todo caso el peso equilibrador del líquido del semiforo.

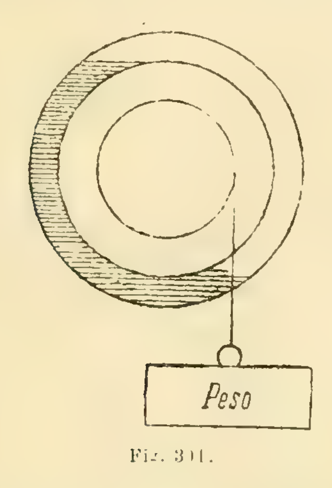


Fig. 304.

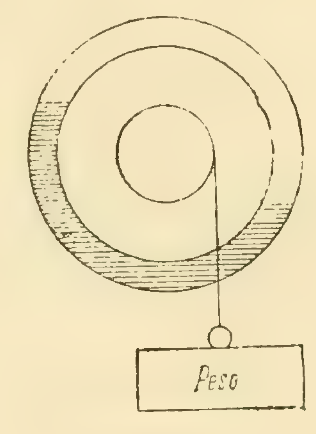


Fig. 305.

Lo cual quiere decir que un mismo foro exije mayor trabajo á medida que efectúa el almacenaje á mayor tension.

V.

Es de observar, que la resistencia de un foro simple no reside en toda la masa líquida, sino solo en una parte de ella: en un trapezoide circular *mnba*.

La parte inferior *abcd*, distribuida simétricamente á un lado y otro del diámetro vertical del foro, está en perfecto equilibrio, y pesa solo sobre los soportes del aparato.

La verdadera resistencia se halla toda en el trapezoide circular *mnba*.

Este, multiplicado por el brazo de palanca que le corresponde, da un producto que es igual al producto del peso del semiforo líquido multiplicado por 0,3183 de la diferencia de niveles (ó en quebrado redondo y aproximacion grosera 0,32).

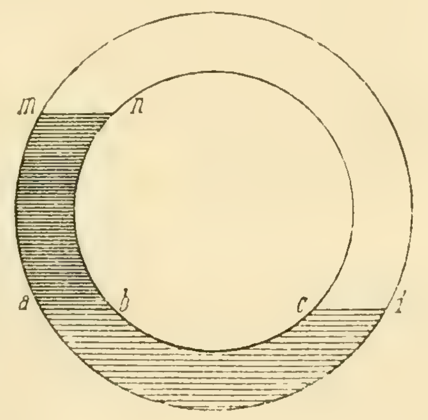


Fig. 306.

Este trozo aumenta á medida que aumenta la condensacion del aire, y de aquí la necesidad para que crezca la densidad del comprimido gas, de aumentar el brazo de palanca ó radio de la polea.

Pero, durante todo el proceso del almacenaje PARA UNA DENSIDAD FIJA, permanece INVARIABLE el trapezoide *mnab;* de modo que, teóricamente, basta para que el almacenaje se efectue, agregar una pequeñísima potencia al peso equilibrador.

Y el trabajo invertido en el almacenaje estará, pues, representado por el producto siguiente:

(Peso equilibrador)
× (por el camino que este peso recorra descendiendo)
× (por el tiempo invertido en el descenso.)

Es de gran importancia conocer la superficie del trapezoide de la resistencia cuando la compresion llega á su máximo; es decir, durante el período del almacenaje, en que para nada influye el segmento $t''' s''' s''$.

A este segmento es conveniente ponerle un nombre.

Lo llamaremos SEGMENTO NEUTRO.

Para calcular, pues, la RESISTENCIA MÁXIMA independientemente del SEGMENTO NEUTRO, procederemos como sigue: $t\,t'\,t''\,t''' + t'\,s'\,s'''\,t''$ = la corona — los 2 segmentos.

Por consiguiente, el trapezoide solo de la resistencia

$t\,t'\,t''\,t''' = \frac{1}{2}$ corona — segmento neutro:

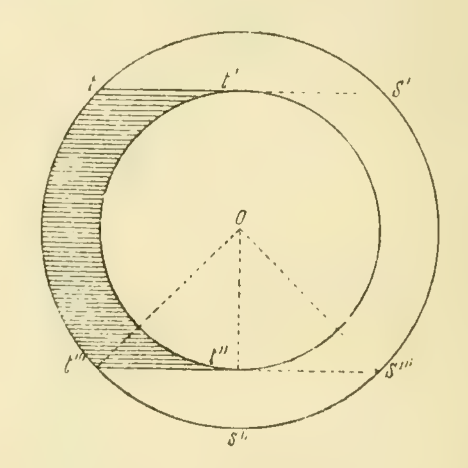



Fig. 307.

Sea $R$ el radio externo del foro, y $r$ el interno, y resultará

$$\text{trapezoide } t\,t'\,t''\,t''' = \frac{1}{2}\pi\left(R^2 - r^2\right) - \text{segmento neutro.}$$

$$= \frac{1}{2}\pi\left(R^2 - r^2\right) - \left[\text{Sector } os'''s''t''' - \text{triángulo } o\,s'''t''\right]$$

$$= \frac{1}{2}\pi\left(R^2 - r^2\right) - \left[\left(\pi R^2 \times \frac{\text{áng. } t'''o\,s''}{360}\right) - \left(ot'' \times \sqrt{(os''')^2 - (ot'')^2}\right)\right]$$

$$= \frac{1}{2}\pi\left(R^2 - r^2\right) - \left[\left(\pi R^2 \times \frac{2 \times \text{áng. } t''o\,s''}{360}\right) - \left(ot'' \times \sqrt{(os''')^2 - (ot'')^2}\right)\right]$$

$$= \frac{1}{2}\pi\left(R^2 - r^2\right) - \left[\left(\pi R^2 \times \frac{\text{áng. cuyo cos. es } r}{180}\right) - \left(r \times \sqrt{R^2 - r^2}\right)\right]$$

$$= \frac{1}{2}\pi\left(R^2 - r^2\right) - \left[\left(\pi R^2 \times \frac{\text{áng. cos. } r}{180}\right) - \left(r \times \text{Seno del ángulo cuyo coseno es } r.\right)\right]$$

Y haciendo $R=1$

$$=\frac{1}{2}\,\pi\left(1-\frac{r^2}{R^2}\right)-\left[\frac{\pi}{180}\times \text{áng. cos. }\frac{r}{R}-\left(\frac{r}{R}\times\left(\begin{array}{c}\text{Seno del ángulo cuyo}\\ \text{coseno es } r.\end{array}\right)\right)\right.$$

Esta fórmula, como se ve es mucho mas incómoda que la anteriormente calculada para la resistencia, ó sea $0{,}32\times P$.

Por ahora de esta haremos uso, porque nos determina la línea del centro de gravedad. Pero, cuando esta determinacion no sea necesaria recurrirémos á la otra.

## VI.

Vengamos ya á algun ejemplo justificante de que, con los foros explicados, el trabajo del almacenaje es igual al del almacenaje por el sistema monocilíndrico, en condiciones equivalentes.

A B

Fig. 308.

Sean 2 cilindros concéntricos de igual altura, $A$ y $B$.

Radio de $B$ $=100^c$

Radio de $A$ $=110^c$

Profundidad $=10^c$

Superficie anular $=\pi(110^2-100^2)=6597^{c^2},3432$

Capacidad del foro $=6597^{c^2},3432\times 10^c=65973^{c^3},432$.

Si llenamos de mercurio $\frac{1}{2}$ foro, el metal pesará, siendo 13,6 su densidad,

$$\frac{65973^{c^3},432}{2}\times 13{,}6=448^k,619.$$

Y, segun lo anterior, el semiforo hidrargírico quedará equilibrado, suspendiendo convenientemente $448^k,619$ de una polea cuyo radio sea igual á 0,32 de la diferencia de niveles (más aproximadamente, $=0{,}318309$).

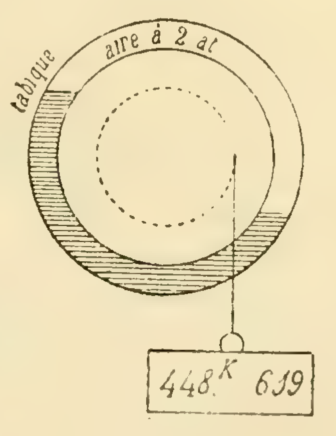



Fig. 309.

Supongamos ahora que vamos á almacenar aire á 2 atmósferas, en una posicion tal, como marca la figura.

La diferencia de niveles será igual á $0^m,76$.

Y el radio de la polea

$$=0{,}76\times 0{,}318309=24^c,1915.$$

Para almacenar, pues, todo el aire á 2 atmósferas, contenido en el semiforo, donde no hay mercurio, tendrá que bajar el contrapeso de $448^k,619$ media circunferencia rectificada de radio$=24^c,1915$; la cual será igual á

$$\pi r = 24^c,1915 \times 3,1416 = 76^c.$$

Y el trabajo á efectuar para el total almacenaje

$$= \text{Peso} \times \text{camino}.$$
$$= 448^k,619 \times 76^c = 340,95 \text{ kilográmetros}.$$

Comparemos este resultado con el del trabajo de almacenar la misma cantidad de aire, ya condensado á 2 atmósferas, en un cilindro de igual capacidad que la del foro; y, como esto puede verificarse con un número infinito de dimensiones, tomemos 2 cualesquiera, para que nos sirvan de término de comparacion.

Sea, pues, $= 100^{c^2}$ la base de este cilindro.

Sea $= 659^c,73432$ la altura;

El volúmen, por consiguiente, $= 659^c,73432 \times 100^{c^2} = 65973^{c^3},432$ $=$ al volúmen del foro calculado.

Ahora bien; si el piston de este cilindro hubiera ya condensado el aire á 2 atmósferas, le quedaria que caminar, para almacenarlo, la mitad de la altura, $= 329^c,867$.

Y, siendo de $100^{c^2}$ la base de este cilindro, habrá de efectuar el piston, contando con el auxilio atmosférico, para almacenar la expresada cantidad de aire á $2^{at}$,

$$= \text{Peso} \times \text{camino}.$$
$$= (100^{c^2} \times 1^k,0336) \times (329^c,867) = 340,95 \text{ kilográmetros}.$$

Y, si suponemos que la duracion del almacenaje es igual en el caso del foro que en el del sistema monocilíndrico, tendremos que el trabajo es idéntico en el primer caso que en el segundo; y, generalizando convenientemente, podemos establecer que para el trabajo del almacenaje lo mismo es desnivelar los semiforos líquidos de estos aparatos que forzar, en cilindros equivalentes, pistones sólidos para obtener de un gas la misma condensacion (1).

---

(1) Examinemos otras dimensiones que nos den la misma capacidad del foro calculado.

Sea $152^c,018$ la altura del cilindro.

Para que su capacidad sea tambien $= 65973^{c^3},432$, es preciso que la base sea de $433^{c^2},99$.

Contando con el auxilio atmosférico.

La diferencia estriba, como hemos visto:

1.° En que, cuando se trata de los compresores ordinarios, la envoltura está fija, y el piston sólido se mueve con movimiento rectilíneo alternativo; mientras que en los foros la envoltura se mueve (alternativamente tambien hasta ahora) permaneciendo fijo en el espacio el piston líquido.

2.° En que el sistema comun cilíndrico, por perfecta que sea la ejecucion, entraña considerables rozamientos, y la compresion con foros entraña apenas resistencias pasivas.

## VII.

Pero se dirá:

¿Cómo es posible que esté desde luego á $2^{at}$ toda la capacidad de un semiforo?

Si, cuando las 2 superficies libres del mercurio tocaban un solo y mismo plano horizontal (*fig.* 310) no habia en el semiforo superior más que aire á la presion normal ambiente, es imposible que ese gas se encuentre á 2 atmósferas antes de haber caminado el tabique 140° próximamente.

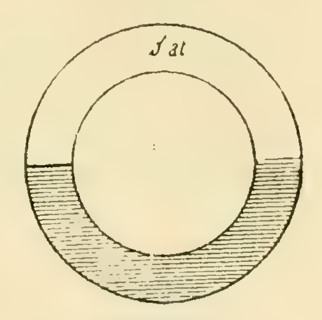


Fig. 310.

¿Cómo, pues, admitir la hipótesis de estar ya el aire á 2 atmósferas en la posicion de la figura representada en la pág. 493?

En primer lugar, lo demostrado para ½ foro, es valedero para cualquier fraccion de esa capacidad; pues, si para el almacenaje ya no necesita el contrapeso descender ½ circunferencia rectificada, descenderá solo una fraccion de esa longitud; y claro es que en el sistema monocilíndrico EQUIVALENTE, habrá de caminar el piston una longitud proporcional, para almacenar la misma cantidad de aire á 2 atmósferas que almacene la fraccion del semiforo.

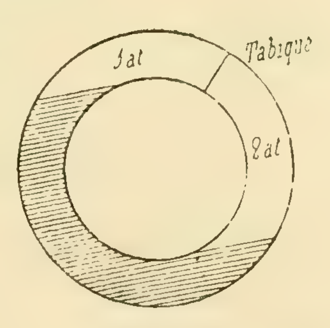


Fig. 311.

Y en segundo lugar, el caso discutido tiene que ocurrir por necesidad con los foros helicoidales, en los cuales puede el almacenaje durar, no solo 180°, sino muchas veces 360°.

---

cuando en el cilindro esté el aire á 2 atmósferas, la resistencia será

$$433{,}99 \times 1^k{,}0326 = 448^k{,}6.$$

Y, como cuando el aire está en el cilindro á 2 atmósferas, tiene el piston que andar aún la mitad de la altura, aparecerá nuevamente que el trabajo será

$$= \text{peso} \times \text{camino} = 448^k{,}6 \times 0^m{,}76 = 340{,}9,$$

como antes.

En este ejemplo, el camino que tiene que andar el piston, es precisamente igual á la semicircunferencia rectificada de radio $24^c{,}19$.

## SECCION II.

### Periodo de la condensacion con foros simples y helicoidales.

I.

Conocidos los interesantes teoremas que nos demuestran hallarse los centros de gravedad de los $z$, $z'$, $z''$....., en una vertical distante del diámetro vertical del foro 0,32 de la diferencia de niveles, pasemos á estudiar el proceso de la condensacion.

Hay, pues, que averiguar:

1.° ¿Es, ó no es, logarítmico el trabajo de la condensacion?

2.° No siéndolo, ¿cómo son los esfuerzos relativamente á las presiones?

3.° ¿Cuáles son los ángulos de la rotacion y tiempos invertidos para llegar á determinada densidad?

II.

Esfuerzos para determinada densidad.

En cualquier instante, la resistencia de un foro simple (prescindiendo de los rozamientos, desarrollo de calor, etc.), es igual á

$$\left\{ \begin{array}{l} \quad (\tfrac{1}{2} \text{ de su capacidad}) \\ \times (\text{densidad del líquido compresor}) \\ \times (0{,}3183\ldots\ldots \text{ de la diferencia de niveles}) \end{array} \right\}$$

de donde resulta desde luego:

El trabajo para la compresion dentro de un foro simple está en razon directa (no logarítmica) de la diferencia de niveles.

En efecto: sean las cinco *figuras* 312 á 316 (para agua marina)

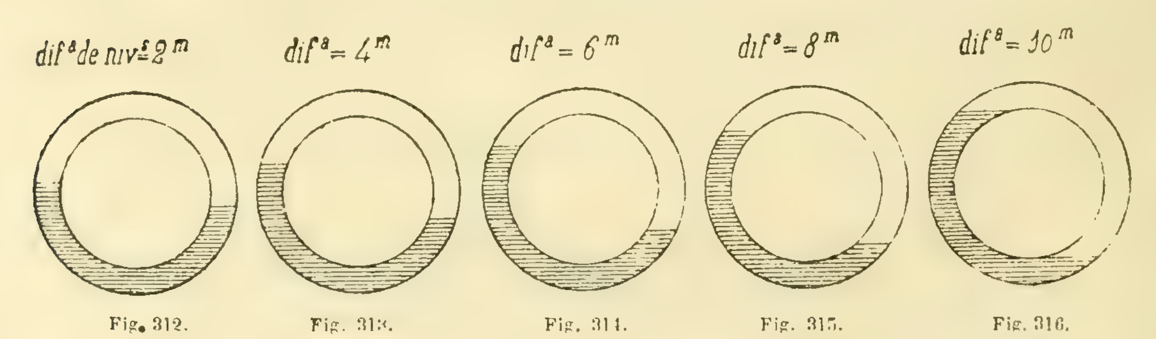



Fig. 312. Fig. 313. Fig. 314. Fig. 315. Fig. 316.

Y tendremos que los trabajos estarán entre sí (si $P$ es el peso del líquido del semi-foro)

$$:: 0{,}32 \text{ de } 2^{m} \times P : 0{,}32 \text{ de } 4^{m} \times P : 0{,}32 \text{ de } 6^{m} \times P : 0{,}32 \text{ de } 8^{m} \times P : 0{,}32 \text{ de } 10^{m} \times P.$$

Y, partiendo la série por $0{,}32 \times P$, resultará que los trabajos son

$$:: \quad 2 \quad : \quad 4 \quad : \quad 6 \quad : \quad 8 \quad : \quad 10.$$

Lo mismo pasa con los foros helicoidales.

Examinemos un caso.

Supongamos un almacenaje de aire á 5 atmósferas, tal como representa la *figura* 316; y, si llamamos $F$ la fuerza necesaria para poner en su MÁXIMO desnivel una semi-espiral de mercurio, claro es que necesitaremos $2F$ para 2 semi-espirales hidrargíricas; $3F$ para 3; y $4F$ para mover las 4......

De modo que, en general, necesitaremos $nF$ para llevar á su MÁXIMO desnivel $n$ semi-circunvoluciones hidrargíricas. A lo que en atmósferas represente el desnivel total de las circunvoluciones, sumadas y agregadas unas á otras, habrá que aumentar la atmósfera ambiente, si queremos tener las atmósferas absolutas y no las efectivas (y del todo siempre habrá que deducir la presion negativa de las semi-circunvoluciones hidráulicas).

Así, los esfuerzos máximos en los foros helicoidales de mercurio y agua están simplemente en razon directa de las presiones, y de ninguna manera en razon logarítmica. A doble presion, doble fuerza. A cuádruple, óctuple....., 16 veces, 32..... veces la presion primitiva; 4 veces, 8, 16, 32..... veces la fuerza necesaria al principio; mientras que, segun la ley logarítmica, para 8, 16, $32^{atm}$..... solo necesitamos 3 veces, 4 veces, 5 veces..... la potencia inicial.

Y, cuando se pasa de una tension de $2^{atm}$, ocurre lo propio en el sistema del foro único: la resistencia en el interior del aparato está en razon directa (no logarítmica) de las presiones.

Suponiendo un foro simple capaz de desniveles de mercurio sucesivamente iguales á $1^{atm}$ efectiva, $2^{atm}$ efectivas, 3, 4, 8, 16.....,
tendríamos para los períodos del almacenaje

$1 \times 0^{m},76 \times 0{,}32^{niveles} \times$ Peso del semi-foro líquido;
$2 \times 0\ ,76 \times 0{,}32 \quad \times P$;
$3 \times 0\ ,76 \times 0{,}32 \quad \times P$;
$4 \times 0\ ,76 \times 0{,}32 \quad \times P$;
.................................................
$n \times 0\ ,76 \times 0{,}32 \quad \times P$;

donde, dividiendo por $0{,}32 \times 0{,}76 \times P$, nos quedarian los esfuerzos en razon directa de las presiones efectivas.

## III.

Para la teoría que estamos estudiando, no es bastante conocer que los esfuerzos del período creciente de la condensacion están en razon de las presiones dentro de cada foro simple ó helicoidal al fin de cada condensacion parcial.

Es preciso, además, conocer los espacios y los tiempos necesarios para llegar á cada una de esas condensaciones parciales (como para todo problema de mecánica).

Y, puesto que el período del máximum es el del almacenaje, ¿cuánto dura éste? O, lo que viene á ser casi lo mismo, ¿cuánto dura el período de la condensacion?

Anticipándome á la demostracion, diré que:

Esta duracion es variable, porque depende de la anchura del foro, ó sea de la diferencia entre los radios externo é interno.

## IV.

Tiempos que duran la condensacion y el almacenaje.

Mientras la condensacion y el almacenaje de un gas se verifica en los foros simples y helicoidales, se está realizando simultáneamente la alimentacion: en otros términos, la alimentacion dura tanto como la condensacion y el almacenaje juntos.

Una y otro duran más de 180° en un foro simple.

En efecto; para la condensacion, partamos de la posicion en que los niveles de las 2 ramas del líquido compresor están en un mismo plano horizontal, y que de aquí en adelante consideraremos como inicial ó normal, y veremos que el período de la condensacion se prolonga, cuando empieza desde que los dos niveles están horizontales (*fig.* 317), hasta que la diferencia de ambos llega á su máximo (*fig.* 318); y que el del almacenaje alcanza desde esa posicion hasta que el tabique compresor ha expulsado todo el aire (*fig.* 319). La

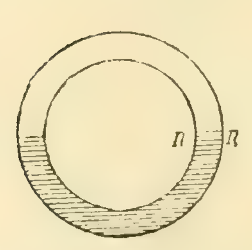


Fig. 317.

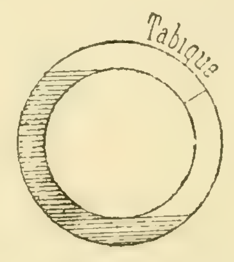


Fig. 318.

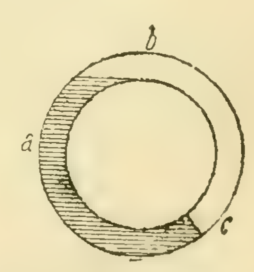


Fig. 319.

curva *abc* que el tabique ha recorrido desde la posicion INICIAL hasta el fin del almacenaje, es evidentemente de más de 180°. Y, precisamente por ir bajando constantemente hasta esta última posicion el nivel *nn* hasta el momento mismo de empezar el almacenaje, es por lo que, con los foros, resulta diferencial el período de la condensacion.

El almacenaje y la condensacion duran, teóricamente, 180° + arco cuyo seno es = al radio del círculo menor.

En la práctica, con foros simples, para evitar los inconvenientes de una irregularidad en la marcha del aparato, tiene este arco que ser algo menor.

Pero los dos periodos de condensacion y de almacenaje son desiguales en la inmensa mayoría de los casos que pueden ocurrir; pues la duracion de cada uno depende de la tension final á que el aire se almacene en cada foro.

Para $2^{at}$ de presion debe reducirse á *tt*, *nn* (*fig.* 320) el volúmen del aire contenido en el semiforo superior *ss* (*fig.* 321), de modo que esto se verificará cuando *ttnn* sea = $\frac{1}{2}$ semiforo: por lo que el período de condensacion habrá durado tanto tiempo como grados tenga el arco *abt* > *tn* evidentemente.

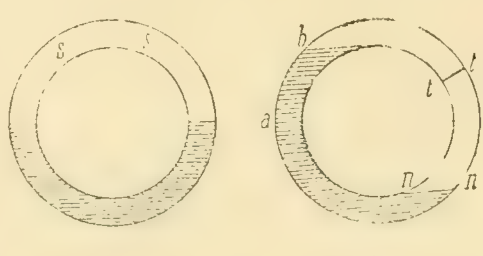


Fig. 320. Fig. 321.

Si en foro que consintiese un desnivel de mercurio igual á $4^{at}$ quisiéramos obtener aire á esta densidad, la condensacion exigiria el tiempo necesario para recorrer un arco > 180°, tal como *abt* (*fig.* 322).

Pero, si solo hubiésemos de almacenarlo á $1^{at}$,2, entonces el semiforo superior tendria que quedar reducido á solas sus $\frac{10}{12}$ avas partes, y el tabique ten-

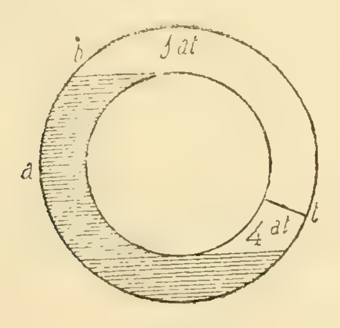


Fig. 322.

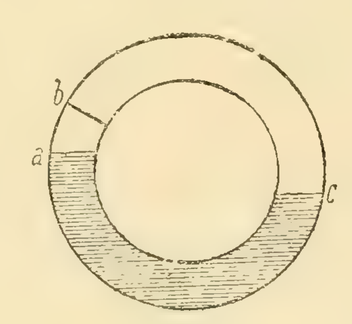


Fig. 323.

dria que caminar, para verificar la condensacion, únicamente el pequeño arco *ab*; y para el almacenaje, el gran arco *bc* (*fig.* 323).

En los dos primeros de estos tres casos que acabamos de examinar (*figuras* 320 *y* 321) dura la condensacion mucho más que el almacenaje; en el último (*fig.* 322), más el almacenaje que la condensacion.

Lo expuesto, *mutatis mutandis*, es aplicable al sistema helicoidal.

Resulta, pues, que en los foros simples y helicoidales:

1.° La alimentacion dura tanto como la condensacion y el almacenaje, siéndoles simultánea;

2.° La condensacion y el almacenaje juntos, invierten más de 180°.

3.° La condensacion sola, dura unas veces más y otras menos que el almacenaje: más cuando la tension final es muy alta; ménos, cuando baja.

## V.

La serie de los tiempos que dura la condensacion no puede ser la misma para los foros que para el cilindro único: la condensacion por foros es diferencial, y no lo es por el cilindro.

¿Será igual esa série de los tiempos á la del sistema diferencial de 2 émbolos conjugados : : 2 : 1 ? Tampoco, porque en este sistema los tiempos son dobles que los del sistema monocilíndrico, y el almacenaje es simultáneo de la condensacion.

¿Será acaso la del sistema de la inmersion? No puede serlo. La carrera del metro cúbico, ó de cualesquiera otros compresores de inmersion, es diferencial en cuanto á los CAMINOS andados; porque mientras el vaso desciende sube el líquido comprimente en el interior; pero en los foros, la condensacion es diferencial en cuanto á las CAPACIDADES, porque á medida que baja el tabique compresor, huye el líquido antagonista; de manera que mientras, por acercarse el tabique *t t* á la superficie del líquido, tiende á disminuirse la capacidad donde está el aire, se agranda en parte por la huida del líquido esa capacidad donde se verifica la condensacion.

## VI.

ÁNGULOS DE ROTACION Y SUS TIEMPOS.

Este nuevo método de condensar, no es ninguno de los estudiados en lo que respecta á la série de los tiempos (igual á la de los espacios cuando el movimiento es uniforme).

Para evidenciarlo hay que tratar separadamente:

1.° De la duracion total del período condensante (en los ejemplos que ponga, la examinaré solo desde 1 á 2 atmósferas).

2.° De las duraciones parciales necesarias para realizar y obtener las tensiones intermedias (en nuestros ejemplos, entre la normal ambiente y la final de $2^{at}$).

Anticipo al lector, que este estudio nos llevará á los dos resultados siguientes:

La duracion total del período condensante es mayor, mientras más delgado el foro.

En un mismo foro, las duraciones parciales no son progresivamente decrecientes; empiezan decreciendo, para crecer luego, aunque poco.

Una curva ligeramente undulada, que desciende primero algo convexa, y luego algo cóncava, puede simbolizar la disciplina de los tiempos por este procedimiento.

## VII.

TIEMPOS QUE DURA LA CONDENSACION.

Sea, como representa la *figura* 324, la posicion INICIAL de la condensacion, en donde el espacio con aire es

$$= 1 \text{ semi-foro simple.}$$

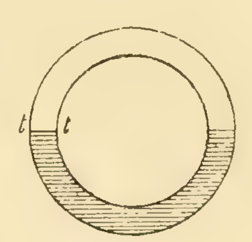


Fig. 324.

Sea, como representa la *figura* 325, la posicion final de la condensacion, ó bien la inicial del almacenar á $2^{at}$ con el mismo foro.

El tabique estará en la *figura* 326 en una posicion tal como $tt'$, en virtud de la cual el espacio $tt'n'm'mn$ sea

$$= \tfrac{1}{2} \text{ semiforo,}$$

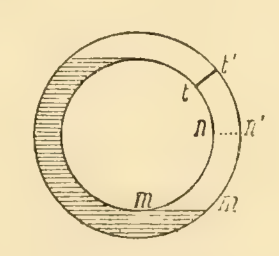


Fig. 325.

puesto que el aire ha de tener en él la tension de $2^{at}$.

Por la retirada y depresion del nivel $mm'$ se ha aumentado el espacio primitivamente ocupado por el aire con el trapezoide circular $nn'm'm$.

Ahora bien, ¿cuánto ha tenido que girar el foro para terminar el período condensante?

Claro es que en el caso que estamos estudiando, habrá de ser

$$180^\circ - \text{áng. en el centro } t'on' \text{ (fig. 326).}$$

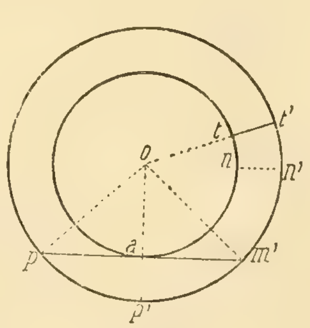


Fig. 326.

Luego tenemos que considerar como incógnita este áng. $t'on'$.

Para determinarlo, empecemos por averiguar qué es lo que le falta á ese trapezoide $nn'm'm$ para ser igual á $\tfrac{1}{2}$ semiforo.

Evidentemente $am'p'$, ó sea la mitad del segmento $pm'p'$.

Luego tendremos

$$t\,t'm'a = t\,t'n'n + n\,n'm'a = \tfrac{1}{2} \text{ semiforo.}$$
$$n\,n'm'p'a = a\,m'\,p' + n\,n'm'a = \tfrac{1}{2} \text{ semiforo,}$$

de donde

$$\text{Trapecio circular } t\,t'n'n = \tfrac{1}{2} \text{ segmento } p\,m'\,p'$$
$$= \tfrac{1}{2}\left[\text{sector } o\,m'p'p - \text{triángulo } om'p\right]$$
$$= \text{sector } o\,m'p' - \text{triángulo } o\,m'\,a.$$

Y, llamando $R$ y $r$ respectivamente á los radios externo é interno, tendremos:

$$\text{Trapecio } t\,t'\,n'\,n = \left(\pi R^2 \frac{\text{ángulo } p'\,o\,m'}{360^\circ}\right) - \left(\frac{r}{2} \times a\,m'\right)$$
$$= \left(\pi R^2 \frac{\text{áng. cuyo cos. es } r}{360^\circ}\right) - \left(\frac{r}{2} \times \left\{\begin{array}{l}\text{seno del mismo án-}\\ \text{gulo, cuyo cos. es } r\end{array}\right.\right).$$

Y, como claramente el área del $\frac{1}{2}$ segmento neutro depende de la diferencia de los radios $R$ y $r$, resulta que, mientras más delgado sea el foro, será por necesidad menor esa superficie.

Por otro lado sabemos que el área de un trapecio circular es

$$= \pi\,(R^2 - r^2) \times \frac{\text{ángulo en el centro}}{360^\circ};$$

de modo que, poniendo en vez de $t\,t'n'n$ su área como trapecio circular, tendremos

$$\frac{\text{ángulo } t'\,o\,n'}{360^\circ} \times \pi\,(R^2 - r^2) = \left(\frac{\text{áng. cuyo cos. es } r}{360^\circ} \times \pi R^2\right) - \left(\frac{r}{2} \times \left\{\begin{array}{l}\text{seno del mismo án-}\\ \text{gulo cuyo cos es } r.\end{array}\right.\right)$$

Como precisamente lo que desconocemos es el ángulo en el centro $t'o\,n'$, resultará

$$x \times \frac{\pi}{360} \times (R^2 - r^2) = \frac{\text{áng. cos. } r}{360} \times \pi R^2 - \frac{r}{2} \times \text{seno del mismo áng. cuyo cos. es } r.$$

$$x = \frac{\text{ang. cos } r \times \dfrac{\pi}{360} \times R^2 - \dfrac{r}{2} \times \text{seno del ángulo cuyo coseno es } r}{\dfrac{\pi}{360} \times (R^2 - r^2)}.$$

El cálculo se facilitará mucho, si como hicimos en el párrafo V de la seccion precedente, ponemos aquí tambien

$$R = 1;$$

porque entonces vendrá

$$x = \frac{\text{áng. cuyo cos. es } \frac{r}{R} \times 0{,}008726 - \frac{1}{2} \times \frac{r}{R} \times \text{seno del ángulo cuyo coseno es } \frac{r}{R}}{0{,}008726 \times \left(1 - \frac{r^2}{R^2}\right)}$$

Y, reducido á decimales el coseno $\frac{r}{R}$, cualquier tabla de FUNCIONES NATURALES trigonométricas, dará el ángulo cuyo coseno es $\frac{r}{R}$; los minutos y segundos del cual deben reducirse á decimales, si las tablas no los dan así. Desde luego en el mismo renglon que designe el ángulo cuyo coseno es $\frac{r}{R}$ se hallará tambien el seno del propio ángulo.

## VIII.

Apliquemos esto, valiéndonos de Tablas de FUNCIONES NATURALES trigonométricas, á 3 foros diferentes, cada uno de los cuales sea capaz de condensar con mercurio aire á $2^{atm}$, y cuyos radios sean entre sí

$$:: 5 : 6 \quad ; \quad :: 5 : 7 \quad ; \quad \text{y} :: 5 : 7\tfrac{1}{2};$$

por manera que las dimensiones, si $0^m{,}760$ de mercurio $= 1^{atm}$, resultarán respectivamente,

$$r = 0^m{,}380 \;;\; r = 0^m{,}380 \;;\; \text{y } r = 0^m{,}380;$$
$$R = 0^m{,}456 \;;\; R = 0^m{,}532 \;;\; R = 0^m{,}570;$$

Y tendremos para el total de la condensacion:

| Para radios. | Será el ángulo $t'$ ó $u'$ del trapecio. | Y, por tanto, el tabique habrá girado. |
|---|---|---|
| :: 5 : 6 | 23°,40 | 180° — 23°,40 = 156°,60 |
| :: 5 : 7 | 32°,20 | 180° — 32°,20 = 147°,80 |
| :: 5 : 7½ | 36°,57 | 180° — 36°,57 = 143°,43 |

Por manera que, para contrarestar la ley de GAY-LUSSAC en cuanto dependa de la mayor lentitud de la operacion, convienen indudablemente más los foros delgados que los anchos.

Por consiguiente, para el total del almacenaje (si por condiciones propias de la construccion se acaba el almacenaje cuando el tabique ha verificado una rotacion de 230°) nos habrá de resultar lo que sigue:

| Para foros. | Almacenaje. |
|---|---|
| :: 5 : 6 | 230° — 156°,60 = 73°,40 |
| :: 5 : 7 | 230° — 147°,80 = 82°,20 |
| :: 5 : 7½ | 230° — 143°,43 = 86°,57 |

El almacenaje dura, pues, tanto más cuanto más ancho es el foro.

## IX.

### ROTACIONES Ó TIEMPOS PARCIALES DEL PERIODO CONDENSANTE.

Analicemos ahora la economía especial del proceso condensante, y demostremos que durante ese período total, primeramente disminuyen los tiempos, para luego crecer alguna cosa.

Claro es que, dado el movimiento uniforme, los espacios son como los tiempos, y que, estudiados los unos, podemos omitir el estudio de los otros.

Supongamos dividida en 5 períodos PARCIALES la duracion de la condensacion TOTAL realizada en un foro capaz de un desnivel de $10^m$ de agua marina.

Lo cual equivale á decir que debemos determinar los tiempos invertidos en obtener el aire comprimido para que la diferencia de niveles sea de $2^m$, $4^m$, $6^m$, $8^m$, $10^m$, en posiciones tales, como las siguientes:

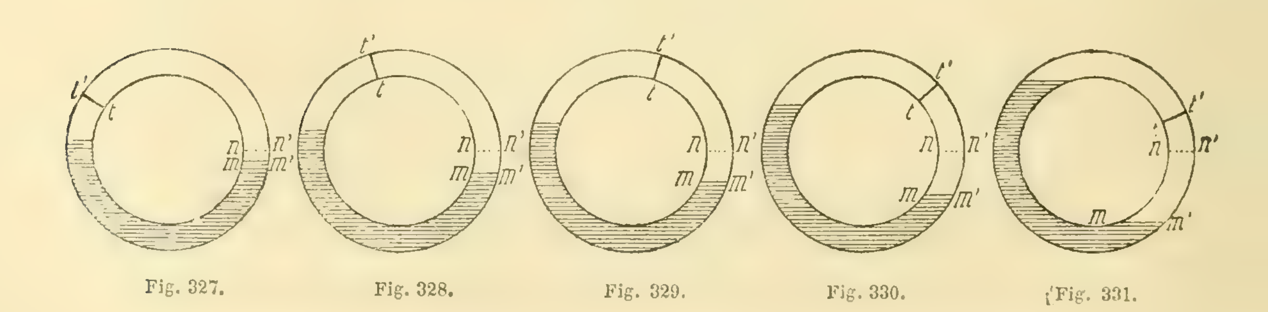



Fig. 327. Fig. 328. Fig. 329. Fig. 330. Fig. 331.

Los espacios que contiene el aire comprimido, constan de un trapezoide circular cada vez mayor $n\,n'm'm$, y de un trapecio circular cada vez menor, $t\,t'n'n$.

Segun la ley de MARIOTTE, el volúmen total ocupado por el aire comprimido, es igual á

$$\frac{1}{2}\text{ semiforo}\times\left(\frac{10^{m}}{1^{at}+\text{diferencia de nivel.}}\right)$$

de modo que tendremos

$$\frac{1}{2}\text{ semif.}\times\frac{10}{1^{at}+\text{diferencia}}=\text{trapezoide } n\,n'm'm + \text{ trapecio } t\,t'n'n.$$

Hay. pues, que determinar:

el primer miembro, que nos es conocido;

el trapezoide $n\,n'm'm$, en que no hay incógnitas;

el ángulo en el centro $t'on'$ del trapecio $t'n'n\,t$, que es la incógnita.

Pero, conocida esta incógnita, es fácil determinar lo que ha andado el tabique $t\,t'$ hallando la diferencia $180^{\circ}-(x=t'o\,n')$.

La marcha del cálculo, exije, pues, 3 determinaciones numéricas.

1.ª Determinacion del trapezoide $n\,n'm'm$, que es igual á la diferencia de 2 semizonas.

2.ª Determinacion del trapecio circular $t'n'n\,t$, para la cual hay que despejar la incógnita de este problema, que es el ángulo en el centro $t'o\,n'=x$.

3.ª Determinacion final del ángulo descrito por el tabique $tt$, que es igual á $180^{\circ}-x$.

## X.

### PRIMERA DETERMINACION: LA DEL TRAPEZOIDE $n\,n'm'm$.

Su área es igual á

$$\left\{\begin{array}{l}+\text{ la semizona } on'm'z\\ -\text{ la semizona } o\,n\,m\,z\end{array}\right\}$$

Hay, pues, que determinar dos semizonas, para luego hallar su diferencia.

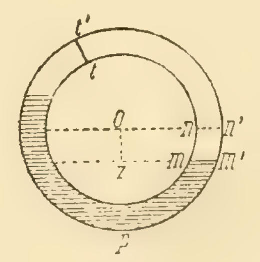


Fig. 332.

Ahora bien (*fig.* 333):

$$\text{semizona } o\,n'm'z = \left(\frac{1}{4}\text{ círculo de radio } R\right) - \left(\frac{1}{2}\text{segmento } zm'p'.\right)$$

$$= \frac{\pi}{4} R^2 - \left[\left(\text{sector } o\ m'p'\right) - \left(\text{triángulo } o\ m'z\right)\right]$$

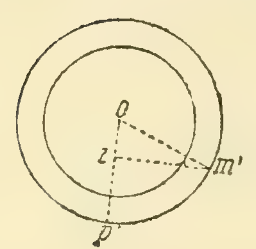



Fig. 333.

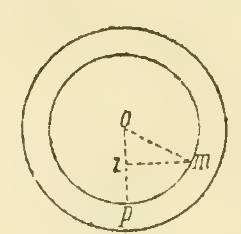



Fig. 334.

$$= 0{,}7854 R^2 - \left[\left(\pi R^2 \times \frac{\text{áng. cuyo cos. es } oz}{360^0}\right) - \left(\frac{oz}{2}\sqrt{R^2 - oz^2}\right)\right]$$

$$= 0{,}7854 R^2 - \left[\left(\frac{\pi}{360} \times R^2 \times \text{ángulo cos. } oz\right) - \left(\frac{oz}{2} \times R \times \left\{\begin{matrix}\text{seno del ángulo cuyo}\\ \text{coseno es } oz.\end{matrix}\right)\right]$$

La otra semizona será (*fig.* 334),

$$\text{semi-zona } o\,n\,m\,z. = \left(\frac{1}{4}\text{ círculo de radio } r\right) - \left(\frac{\text{segm. } zmp}{2}\right)$$

$$= 0{,}7854 r^2 - \left[\left(\pi r^2 \times \frac{\text{áng. cos. } oz}{360^0}\right) - \left(\frac{oz}{2}\sqrt{r^2 - oz^2}\right)\right]$$

$$= 0{,}7854 r^2 - \left[\left(\frac{\pi}{360} \times r^2 \times \text{áng. cos. } oz\right) - \left(\frac{oz}{2} \times r \times \left\{\begin{matrix}\text{seno del ángulo}\\ \text{cuyo cos es } oz\,(1).\end{matrix}\right)\right]$$

Restando una ecuacion de otra, y llamando $D$ al segundo miembro, tendremos:

$$\text{trapezoide } n\,n'\,m'm = D,$$

muy fácil de determinar por una tabla de funciones trigonométricas.

(1) Es evidente que hay que referir ahora $oz$ al radio $r$, y no al $R$.

## XI.

### SEGUNDA DETERMINACION: LA DE LA INCÓGNITA, Ó SEA DEL TRAPECIO CIRCULAR $t'n'nt$.

Como ya se ha indicado, $t'n'nt = t'm'mt - n'm'mn$.

El minuendo $t'm'mt$ nos es conocido en virtud de la ley de Mariotte, por ser igual al volúmen á que queda reducido el semiforo bajo la presion de (una atmósfera $+ oz \times 2$) (*fig.* 335), y por consiguiente, es

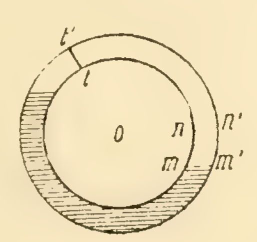


Fig. 335.

$$t'm'mt = \tfrac{1}{2} \text{ semiforo} \times (1^{at} + (oz \times 2)).$$

Y si llamamos $\frac{h}{d}$ al coeficiente de la reduccion del volúmen bajo la presion $2 \times OZ$, además de la ambiente, nos resultará

$$\text{trapecio } t'n'nt = \left(\frac{h}{d} \times \text{semiforo}\right) - D,$$

sabemos que un trapecio circular es igual á

$$\pi (R^2 - r^2) \times \frac{\text{áng. en el centro}}{360^\circ}$$

Pongamos, pues, en el primer miembro la expresion geométrica de este trapecio circular, y tendremos

$$\pi (R^2 - r^2) \times \frac{\text{áng. } t'o'n}{360} = \left(\frac{h}{d} \times \frac{1}{2} \pi (R^2 - r^2)\right) - D.$$

Y, puesto que lo que no conocemos es precisamente el ángulo en el centro $t'on'$, aparecerá

$$\frac{x}{360} \times \pi (R^2 - r^2) = \left(\frac{h}{d} \times \frac{1}{2} (\pi (R^2 - r^2))\right) - D;$$

partiendo por $\pi (R^2 - r^2)$, vendrá

$$\frac{x}{360} = \frac{h}{2d} - \frac{D}{\pi (R^2 - r^2)};$$

Y, despejando,

$$x = \frac{360\, h}{2d} - \frac{\pi (R^2 - r^2)}{360} \times D.$$

Si llamamos $K$ á este segundo miembro, sabremos lo que el tabique ha andado para obtener la densidad de $1^{at}+2\ o\ z$, valiéndonos al efecto de la operacion

$$180° - K.$$

## XII.

Ejemplos.

Demos valores á los radios del foro que hemos supuesto capaz de un desnivel de $10^{m}$ de agua marina:

$$R = 70 \text{ decímetros.}$$
$$r = 50 \text{ decímetros.}$$

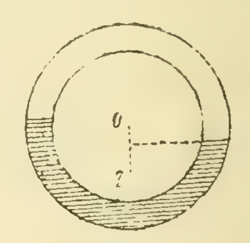


Fig. 336.

Y tendremos, para cuando $o\ z$ sea igual á 10 decímetros, lo que sigue;

1.°, Presion $= 1^{at}\ \frac{2}{10}$

2.°, $\frac{h}{d} = \frac{10}{12}$

3.°, el coeficiente de $D$ en la forma anterior, valdrá

$$\frac{360}{\pi\,(R^2 - r^2)} = \frac{360}{3{,}1416\,(70^2 - 25^2)} = 0{,}0477.$$

4.°, Y la fórmula anterior de la incógnita $x$, será

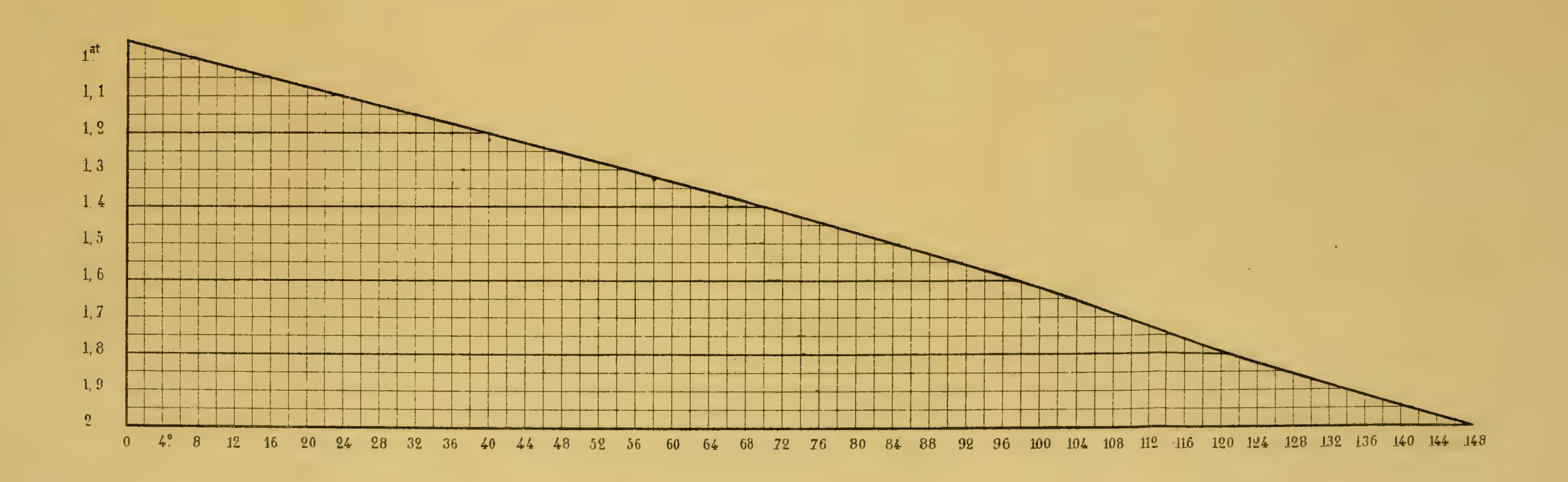
$$x = 360 \times \frac{10}{24} - 0{,}0477 \times D$$

donde solo tendremos que calcular $D$, ó sea cada una de las semizonas, y restarlas; á cuyo fin, con el auxilio de una tabla de funciones trigonométricas, puede adoptarse la marcha siguiente:

CURVA UNDULADA DE LOS TIEMPOS NECESARIOS PARA CONDENSAR AIRE DE 1.AT A 2

CON FOROS SIMPLES

(Frente á la pág. 509.)



$$.{}^{a}\ \text{semi-zona} = 0{,}7854 \times 4900 - \left[\left(\frac{\pi}{360}\ (70)^2 \times \text{ángulo cos.}\ \frac{1}{7}\right) - \left(\frac{70}{7} : 2\right) \times \left(\text{seno del mismo áng.} \times 70\right)\right]$$

$$= 3848{,}46 \quad - \left[\left(0{,}008726 \times 4900 \times 81^\circ, 47' = 81{,}78\right) - \left(\quad 5\right) \times \left(0{,}98973 \qquad \times 70\right)\right]$$

$$= 3848{,}46 \quad - \quad 3149$$

$$= \ 699{,}46$$

$$2.{}^{a}\ \text{semi-zona} = 0{,}7854 \times 2500 - \left[\left(\frac{\pi}{360}\ (50)^2 \times \text{ángulo cos.}\ \frac{1}{5}\right) - \left(\frac{50}{2} : 2\right) \times \left(\text{seno del mismo áng.} \times 50\right)\right]$$

$$= 1963{,}50 \quad - \left[\left(0{,}008726 \times 2500 \times 78^\circ,28' = 78{,}47\right) - \left(\quad 5\right) \times \left(0{,}97981 \qquad \times 50\right)\right]$$

$$= 1963{,}50 \quad - \quad 1466{,}40$$

$$= 497{,}1$$

Diferencia de semi-zonas = 699,46 — 497,1 = 202,45.

Sustituyendo, pues, este valor de $D$ en la formula

$$x = 360 \times \frac{10}{24} - 0{,}0477 \times D,$$

tendremos

$$x = 150 - 9{,}657 = 140^\circ{,}34.$$

Por manera, que para obtener el aire comprimido á la tension de $1^{atm}{,}2$ ha tenido el tabique que caminar

$$180^\circ - 140^\circ{,}34 = 39^\circ{,}66.$$

Haciendo operaciones análogas para cuando las presiones sean

$$1^{at}{,}4;\ 1^{at}{,}6;\ 1^{at}{,}8;\ 2^{at},$$

resultará que los ángulos recorridos por el tabique compresor serán los del estado siguiente:

| El tabique anda desde cero para obtener aire á | | Y para pasar desde una densidad á la inmediata | | Por un sistema diferencial cuya marcha de émbolos conjugados durase 147,80 | |
|---|---|---|---|---|---|
| $1^{at}$,2........ | 39°,66 | de cero á $1^{at}$,2... | 39°,66 | de cero á $1^{at}$,2.... | 49,24 |
| 1 ,4........ | 70°,90 | de $1^{at}$,2 á 1 ,4... | 31°,24 | de $1^{at}$,2 á 1 ,4.... | 35,20 |
| 1 ,6........ | 97°,56 | de 1 ,4 á 1 ,6... | 26°,66 | de 1 ,4 á 1 ,6.... | 26,40 |
| 1 ,8........ | 121°,98 | de 1 ,6 á 1 ,8... | 24°,42 | de 1 ,6 á 1 ,8.... | 20,55 |
| 2 ........ | 147°,80 | de 1 ,8 á 2 ... | 25°,82 | de 1 ,8 á 2 .... | 16,44 |
| | | | 147°,80 | | 147,80 |

Como habíamos anunciado, disminuyen efectivamente los tiempos ó los ángulos que el tabique recorre, y hácia el final crecen alguna cosa.

## XIII.

Naturalmente se echará de ver la conveniencia de que el procedimiento resulte de mayor lentitud, precisamente cuando va haciéndose mayor la condensacion, por ser de este modo menor la acumulacion de calor sensible en el interior de la masa gaseosa, y concedérsele así mayor tiempo para disiparse por irradiacion.

Pero ¿por qué se nos aparece repentinamente esta mayor lentitud?

Porque los trapezoides van siendo cada vez mayores, mientras más adelanta el proceso de la condensacion.

Es de evidencia que

trapezoide $n\,n'm'm < m\,m'l'l < l\,l'r'r < r\,r's's < s\,s'r'r$.

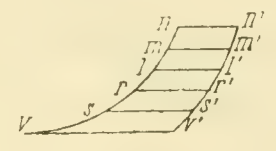



Fig. 337.

En los últimos instantes de la condensacion á 2[at], crece en estos foros el espacio del último trapezoide circular bastante más, que disminuye la masa del aire comprimido; y de aquí el aumento del tiempo correspondiente á esta condensacion parcial: circunstancia feliz contra el perjudicial influjo de la ley de Gay-Lussac.

Hé aquí, reunidas para su comparacion, las superficies de los 5 trapezoides en el caso de 50 y 70 decímetros en los radios.

| | |
|---|---|
| 1[er] trapezoide.................... | 202,45 demtros. cuadrados. |
| 2.º.......................... | 205,86 |
| 3.º.......................... | 222 |
| 4.º.......................... | 249,89 |
| 5.º.......................... | 345,76 |
| | 1225,96 |

Estos 5 trapezoides, unidos al trapecio circular, cuyo ángulo en el centro es = 32º,20, y cuya superficie........................................ = 659

dan el volúmen del ¼ semiforo = $(70^2 - 50^2)$...... = 1884,96

# APÉNDICE AL CAPÍTULO III.

Los teoremas de las Secciones II y III de este Cap. III demuestran que el centro de gravedad de un foro se encuentra en una vertical $z, z', z'', z'''$....., que dista de otra vertical tirada por el centro del foro 0,3183..... de la diferencia de niveles.....

Para la resolucion de los problemas dinámicos que yo he tenido necesidad de resolver en esta obra, me ha bastado con el descubrimiento de esta propiedad; mas ella sola no es suficiente para la resolucion de otras cuestiones forales que no ha sido necesario proponer en estos libros, pero que indudablemente ocurrirán á otros investigadores.

La solucion completa del problema exige que se sepa, no solo que el centro de gravedad está en la vertical de los $z, z', z'', z'''$....., sino tambien que se conozca el punto especial de esa vertical en que se halla dicho centro.

No habiéndome acudido la solucion geométrica, consulté el caso, en noviembre de 1873, con mi querido amigo y compañero en el Observatorio de San Fernando, Sr. D. ENRIQUE GARRIDO, y éste, de entonces acá, con la riqueza científica que le distingue, ha resuelto analíticamente ese y otros varios problemas, más difíciles aún, sobre centros de gravedad referentes á sólidos no homogéneos, intercilíndricos y de otras formas.

Unicamente publicaré en esta obra la elegantísima solucion que se refiere á la vertical de los $z, z', z'', z'''$....., cuya rara sencillez es solo comparable con su profundidad.

Dice así la luminosa carta del Sr. GARRIDO referente á este asunto.

## I.

«Mi querido BENOT:

Imagínense dos cilindros rectos de eje comun y de bases circulares, cuyos radios sean $R$ y $r$.

Consideremos que en el espacio comprendido entre las superficies laterales y las bases de estos dos cilindros, se encuentra encerrado un fluido homogéneo, que supondremos incompresible, cuyo volúmen sea exactamente la mitad del que tiene dicho espacio intercilíndrico.

Es evidente que, cuando el eje comun de los cilindros esté HORIZONTAL, y sobre el fluido no obre más fuerza que la gravedad, el líquido ocupará la mitad inferior del espacio intercilíndrico, y las superficies libres de ambas ramas estarán en una misma superficie de nivel.—Distinguiremos en adelante esta posicion del líquido dentro de la envoltura con el nombre de POSICION NORMAL.

Supongamos ahora que sobre la superficie libre del líquido de una de las ramas obran fuerzas que, sacando á la masa fluida de la posicion normal, la mueven haciéndole recorrer todas las posiciones que puede tomar al rededor del eje, conservando á nivel ambas superficies libres.

Ahora bien: bajo estas hipótesis es fácil ver que la diferencia de nivel entre ambas ramas del líquido, será siempre igual al duplo del seno del arco descrito por un punto cualquiera de las superficies libres; y que la máxima diferencia de nivel que éstas podrán alcanzar, será igual al diámetro $2r$ del cilindro interior, en el caso de que dichas superficies libres del líquido queden tangentes á la superficie lateral de este cilindro.

Establecido lo que precede, tratemos de determinar la ECUACION DEL LUGAR GEOMÉTRICO de los centros de gravedad del líquido EN MOVIMIENTO.

Para esto, y con el fin de simplificar la resolucion del problema, referiremos el sólido á un sistema de ejes coordinados rectangulares, cuyo orígen sea el punto medio del eje comun á los cilindros: sea el plano de las Y Z el que determinan las superficies libres del líquido cuando éste se halla en la posicion normal, y sea el eje de los Z el mismo de los cilindros.

## II.

Claro es que, bajo las suposiciones que preceden, la masa fluida quedará simétricamente situada respecto del plano coordinado XY, en todas las posiciones que aquella adquiera al rededor del eje; y que el centro de gravedad de dicha masa, cualquiera que sea la posicion de ésta, se hallará en dicho plano: por tanto, el lugar geométrico de los centros de gravedad del líquido será el mismo que el de los correspondientes á las superficies planas que resulten de la interseccion de éste con el plano XY.

Represente, pues, $M\,T\,S\,T'\,M'\,m'\,t\,m$ la seccion hecha en el líquido por el plano XY, cuando la diferencia de nivel de las dos ramas tenga el valor $2\,\alpha$, pudiendo $\alpha$ variar desde 0 hasta $r$.

Dividamos la superficie plana antedicha en tres partes por la recta $T'\,t\,T$, tangente al círculo interior y paralela al eje de las Y. La parte $T'\,t\,S\,T$ será constante en todas las posiciones que el líquido pueda tomar en el recipiente, y su centro de gravedad se encontrará evidentemente sobre el eje de las X, á causa de la simetría de esta parte respecto al mencionado eje; pero variará de posicion sobre el mismo con los valores de los radios $R$ y $r$.

Para determinar ahora la posicion de los centros de gravedad de estas tres partes $M\,T\,t\,m$, $T\,S\,T'\,t$ y $M'\,m'\,t\,T'$, sabemos que cuando una superficie plana está referida á un sistema coordinado de ejes rectangulares

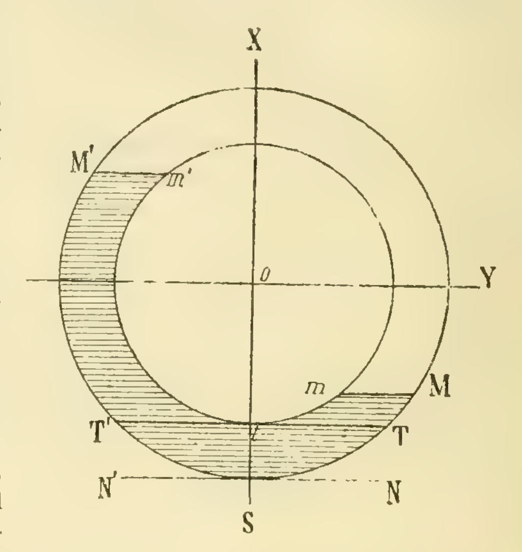



Fig. 338.

situados en el plano de la misma, y se divide en bandas rectangulares por rectas infinitamente próximas, paralelas unas al eje de las Y, y otras al de las X, las expresiones

$$\left.\begin{aligned} A &= \int_{\upsilon}^{\sigma}\int_{i}^{s} dx\,dy \\ A\,\xi &= \int_{\upsilon}^{\sigma}\int_{i}^{s} x\,dx\,dy \\ A\,\zeta &= \int_{\upsilon}^{\sigma}\int_{i}^{s} y\,dx\,dy \end{aligned}\right\} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ 1,$$

dan á conocer el área $A$ de la superficie plana y las coordinadas $\xi$ y $\zeta$ de su centro de gravedad, siendo $\sigma$ y $\upsilon$ los valores de $y$ correspondientes á una misma abscisa, obtenidos de las ecuaciones de las líneas que limitan la superficie en el sentido de aquella coordinada; y $s$ é $i$ los valores de $x$ que dan las ecuaciones de dos rectas paralelas al eje de las Y, y limitan la superficie en el sentido de las abscisas.

En el caso de que tratamos, los límites de las superficies en el sentido de las ordinadas son arcos de círculo, cuyas ecuaciones son

$$x^2 + y^2 = R^2$$

$$x_1^2 + y_1^2 = r^2$$

que para un valor comun de la abscisa $x$ dan para

$$M\,T\,t\,m \text{ y } M'\,m'\,t\,T' \dots \begin{cases} \sigma = \pm\sqrt{R^2 - x^2} \\ \upsilon = \pm\sqrt{r^2 - x^2} \end{cases} \dots\dots\dots\dots (1).$$

$$T\,S\,T'\,t \dots\dots\dots \begin{cases} \sigma = +\sqrt{R^2 - x^2} \\ \upsilon = -\sqrt{R^2 - x^2} \end{cases} \dots\dots\dots\dots (2).$$

Los límites de las superficies en el sentido de las abscisas están dados por las ecuaciones de las rectas $M'\,m'$, $m\,M$, $T'\,T$, y $N'\,N$, paralelas al eje de las Y, que son

$$x = \alpha$$

$$x = -\alpha$$

$$x = -r$$

$$x = -R$$

y, por tanto, para la superficie

$$M\,T\,t\,m \dots\dots\dots \begin{cases} s = -\alpha \\ i = -r \end{cases} \dots\dots\dots\dots (3)$$

$$M'\,T'\,t\,m \dots\dots\dots \begin{cases} s = \alpha \\ i = -r \end{cases} \dots\dots\dots\dots (4):$$

$$T\,S\,T'\,t \dots\dots\dots \begin{cases} s = -r \\ i = -R \end{cases} \dots\dots\dots\dots (5).$$

Introduciendo en las fórmulas generales *(A)* los anteriores valores de los límites, se tendrá para la superficie

$$M\,T\,t\,m \dots\dots\dots \begin{cases} A_1 = \displaystyle\int_{\sqrt{r^2 - x^2}}^{\sqrt{R^2 - x^2}} \int_{-r}^{-\alpha} d\,x\,d\,y \\ A_1\,x_1 = \displaystyle\int_{\sqrt{r^2 - x^2}}^{\sqrt{R^2 - x^2}} \int_{-r}^{-\alpha} x\,d\,x\,d\,y \\ A_1\,y_1 = \displaystyle\int_{\sqrt{r^2 - x^2}}^{\sqrt{R^2 - x^2}} \int_{-r}^{-\alpha} y\,d\,x\,d\,y \end{cases} \dots\dots\dots\dots (6)$$

$$M'\,m'\,t\,T' \ldots\ldots \left\{ \begin{aligned} A_2 &= \int_{-\sqrt{R^2-x^2}}^{-\sqrt{r^2-x^2}} \int_{-r}^{\alpha} d\,x\,d\,y \\ A_2\,x_2 &= \int_{-\sqrt{R^2-x^2}}^{-\sqrt{r^2-x^2}} \int_{-r}^{\alpha} x\,d\,x\,d\,y \\ A_2\,y_2 &= \int_{-\sqrt{R^2-x^2}}^{-\sqrt{r^2-x^2}} \int_{-r}^{\alpha} y\,d\,x\,d\,y \end{aligned} \right\} \ldots\ldots (7)$$

$$T\,S\,T'\,t \ldots\ldots \left\{ \begin{aligned} A_3 &= \int_{-\sqrt{R^2-x^2}}^{\sqrt{R^2-x^2}} \int_{-R}^{-r} d\,x\,d\,y \\ A_3\,x_3 &= \int_{-\sqrt{R^2-x^2}}^{\sqrt{R^2-x^2}} \int_{-R}^{-r} x\,d\,x\,d\,y \\ A_3\,y_3 &= \int_{-\sqrt{R^2-x^2}}^{\sqrt{R^2-x^2}} \int_{-R}^{-r} y\,d\,x\,d\,y \end{aligned} \right\} \ldots\ldots (8)$$

Verificada la primera integracion, considerando á $x$ como constante, se tiene inmediatamente para

$$M\,T\,t\,m \ldots\ldots \left\{ \begin{aligned} A_1 &= \int_{-r}^{-\alpha} \left(\sqrt{R^2-x^2} - \sqrt{r^2-x^2}\right) d\,x \\ A_1\,x_1 &= \int_{-r}^{-\alpha} \left(\sqrt{R^2-x^2} - \sqrt{r^2-x^2}\right) x\,d\,x \\ A_1\,y_1 &= \tfrac{1}{2}\int_{-r}^{-\alpha} (R^2 - r^2)\,d\,x \end{aligned} \right\} \ldots\ldots (9)$$

$$M'\,m'\,t\,T' \ldots\ldots \left\{ \begin{aligned} A_2 &= \int_{-r}^{\alpha} \left(\sqrt{R^2-x^2} - \sqrt{r^2-x^2}\right) d\,x \\ A_2\,x_2 &= \int_{-r}^{\alpha} \left(\sqrt{R^2-x^2} - \sqrt{r^2-x^2}\right) x\,d\,x \\ A_2\,y_2 &= \tfrac{1}{2}\int_{-r}^{\alpha} (r^2 - R^2)\,d\,x \end{aligned} \right\} \ldots\ldots (10)$$

$$TST't\ldots\ldots\left\{\begin{array}{l} A_5=2\int_{-R}^{-r}\sqrt{R^2-x^2}\;dx \\ A_5x_5=2\int_{-R}^{-r}x\sqrt{R^2-x^2}\;dx \\ A_5y_5=0 \end{array}\right\}\ldots\ldots\ldots\;(11).$$

Para verificar ahora la segunda integracion, se tiene fácilmente

$$\int.\sqrt{a^2-x^2}\;dx=\tfrac{1}{2}a^2\operatorname{arc}\left(\sin=\frac{x}{a}\right)+\tfrac{1}{2}x\sqrt{a^2-x^2}+C\ldots\;(B):$$

$$\int.\sqrt{a^2-x^2}\;xdx=-\tfrac{1}{3}(a^2-x^2)^{\frac{3}{2}}+C\ldots\ldots\ldots\;(C):$$

y, aplicando estas integrales generales á las definidas anteriores, se obtiene para

$$MTtm\ldots\left\{\begin{array}{l} A_1=\tfrac{1}{2}R^2\left[\operatorname{arc}\left(\sin=\frac{r}{R}\right)-\operatorname{arc}\left(\sin=\frac{\alpha}{R}\right)\right] \\ \quad+\tfrac{1}{2}r^2\operatorname{arc}\left(\sin=\frac{\alpha}{r}\right) \\ \quad-\tfrac{1}{2}\alpha\left[\sqrt{R^2-\alpha^2}-\sqrt{r^2-\alpha^2}\right] \\ \quad+\tfrac{1}{2}r\sqrt{R^2-r^2}-\tfrac{1}{4}r^2\pi \\ A_1x_1=-\tfrac{1}{3}\left[(R^2-\alpha^2)^{\frac{3}{2}}-(r^2-\alpha^2)^{\frac{3}{2}}-(R^2-r^2)^{\frac{3}{2}}\right] \\ A_1y_1=\tfrac{1}{2}(R^2-r^2)(r-\alpha) \end{array}\right\}\ldots\ldots\;(12)$$

$$M'm'tT'\ldots\left\{\begin{array}{l} A_2=\tfrac{1}{2}R^2\left[\operatorname{arc}\left(\sin=\frac{r}{R}\right)+\operatorname{arc}\left(\sin-\frac{\alpha}{R}\right)\right] \\ \quad-\tfrac{1}{2}r^2\operatorname{arc}\left(\sin=\frac{\alpha}{r}\right) \\ \quad+\tfrac{1}{2}\alpha\left[\sqrt{R^2-\alpha^2}-\sqrt{r^2-\alpha^2}\right] \\ \quad+\tfrac{1}{2}r\sqrt{R^2-r^2}-\tfrac{1}{4}r^2\pi \\ A_2x_2=-\tfrac{1}{3}\left[(R^2-\alpha^2)^{\frac{3}{2}}-(r^2-\alpha^2)^{\frac{3}{2}}-(R^2-r^2)^{\frac{3}{2}}\right] \\ A_2y_2=-\tfrac{1}{2}(R^2-r^2)(r+\alpha) \end{array}\right\}\ldots\ldots\;(13)$$

$$
TST't \ldots \left\{ \begin{array}{l} A_3 = -R^2 \operatorname{arc}\left(\sin = \frac{r}{R}\right) \\ \qquad - r\sqrt{R^2 - r^2} + \frac{1}{2} R^2 \pi \\ A_3 x_3 = -\frac{2}{3}(R^2 - r^2)^{\frac{3}{2}} \\ A_3 y_3 = 0 \end{array} \right\} \ldots\ldots \quad (14),
$$

que son las expresiones de las áreas y de las coordinadas de los centros de gravedad de las tres partes en que hemos dividido la superficie de la seccion, hecha por el plano XY en la masa fluida.

## III.

Si llamamos ahora $\Sigma$ la superficie total de la seccion hecha en el líquido por el plano XY, y designamos por $X$ é $Y$ las coordinadas del centro de gravedad de la misma, se sabe que

$$
\left. \begin{array}{l} \Sigma X = A_1 x_1 + A_2 x_2 + A_3 x_3 \\ \Sigma Y = A_1 y_1 + A_2 y_2 + A_3 y_3 \end{array} \right\} \ldots\ldots \quad (D);
$$

expresiones en que el valor de $\Sigma$ será conocido por la ecuacion

$$
\Sigma = A_1 + A_2 + A_3 \ldots\ldots \quad (E);
$$

luego, si en estas ecuaciones introducimos los valores dados por las (12), (13) y (14), se tendrá, despues de toda reduccion,

$$
\Sigma = \frac{1}{2}(R^2 - r^2)\pi \ldots\ldots \quad (15),
$$

que es el área del semi-anillo circular que resulta hecho en el líquido por una seccion recta, cuando aquel está en la POSICION NORMAL; y tambien se tendrán las expresiones

$$
\left. \begin{array}{l} X = -\frac{4}{3} \frac{(R^2 - \alpha^2)^{\frac{3}{2}} - (r^2 - \alpha^2)^{\frac{3}{2}}}{(R^2 - r^2)\pi} \\ Y = -\frac{2\alpha}{\pi} \end{array} \right\} \ldots\ldots \quad (16),
$$

que dan á conocer los valores de las coordinadas del centro de gravedad del fluido en cualquiera de las posiciones que éste puede adquirir al rededor del eje del cilindro; y nos dicen

que, en tanto que los radios $R$ y $r$ de los cilindros permanezcan constantes, las coordinadas del centro de gravedad del líquido variarán con $\alpha$, ó sea con la diferencia de nivel entre las superficies libres de las dos ramas.

El anterior valor de $X$ varía con los de $R$ y $r$ para los mismos valores de $\alpha$; pero el de $Y$, que es independiente de estos radios, da orígen á la siguiente propiedad.

«En tanto que el eje comun de los cilindros permanezca horizontal, el centro de gravedad del semi-anillo líquido intercilíndrico se encuentra sobre la seccion recta que pasa por el punto medio de dicho eje, en una vertical que dista de la correspondiente á dicho punto medio 0,3183..... de la diferencia de nivel que haya entre las superficies libres del líquido en las dos ramas, hácia el lado de la más elevada.»

Si eliminamos la cantidad variable $\alpha$ entre las dos ecuaciones (16), se obtiene

$$\left(\frac{4R^2}{\pi^2}-Y^2\right)^{\frac{3}{2}}-\left(\frac{4r^2}{\pi^2}-Y^2\right)^{\frac{3}{2}}+\frac{6\,(R^2-r^2)}{\pi^2}\,X=0 \ldots\ldots\ \ldots. \quad (17),$$

que es la ECUACION DEL LUGAR GEOMÉTRICO de los centros de gravedad de la masa fluida encerrada en el espacio intercilíndrico, cuando dicha masa está obligada á moverse en las condiciones supuestas al principio.

Esta última ecuacion nos dice:

1.° Que la curva no pasa por el orígen de coordinadas, puesto que no es satisfecha para los valores $X=0$ é $Y=0$.

2.° Por cada dos valores de $Y$, iguales y de signos contrarios, se obtiene el mismo valor para $X$; luego la curva es simétrica respecto al eje de esta coordinada.

3.° Como por hipótesis $r<R$, para todo valor de $Y$ mayor que $\pm\frac{2r}{\pi}$ los de $X$ resultan imaginarios; luego $\frac{2r}{\pi}$ es el mayor valor numérico que puede tener la coordinada $Y$.

4.° Para todos los valores de $Y$, ya positivos, ya negativos, los correspondientes de $X$ resultan siempre negativos; luego la curva cae toda ella por debajo del eje de las Y.

5.° Cuando $Y=0$, resulta el valor

$$X=-\frac{4}{3\pi}\,\frac{R^3-r^3}{R^2-r^2}:\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (18),$$

y por tanto la curva corta al eje de las $X$ en un punto cuya distancia al orígen es igual á dicho valor, y que es vértice de la curva.—Este mismo punto es, evidentemente, el centro de gravedad del líquido, cuando éste queda en la posicion normal.

6.° La diferencial segunda de dicha ecuacion nos da

$$\frac{d^2X}{dY^2}=\frac{\pi^2}{2\,(R^2-r^2)}\left[\left(\frac{4R^2}{\pi^2}-Y^2\right)^{\frac{1}{2}}\right.$$

$$\left.-\left(\frac{4r^2}{\pi^2}-Y^2\right)^{\frac{1}{2}}\right]\left[1+\frac{Y^2}{\left(\frac{4R^2}{\pi^2}-Y^2\right)^{\frac{1}{2}}\left(\frac{4r^2}{\pi^2}-Y^2\right)^{\frac{1}{2}}}\right]$$

cuyo coeficiente diferencial, puesto que $Y \gtreqless \frac{2r}{\pi}$ y $R>r$, es siempre positivo; y, como el valor de $X$ de la misma ecuacion es siempre negativo, la curva vuelve su concavidad hácia el eje de las $Y$.

La curva que contiene los centros de gravedad del líquido es, por tanto, de la forma que por medio de puntos manifiesta la *figura* 339.

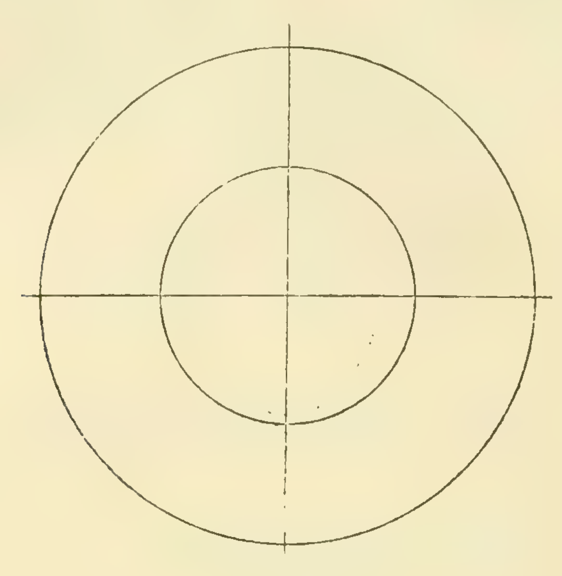


Fig. 339.

## IV.

En lo que precede, se ha supuesto que el líquido ocupaba exactamente la mitad del espacio intercilíndrico; pero, si esto no fuera, bastaria, al aplicar las fórmulas ($A$), hacer las convenientes modificaciones, que estarian reducidas á variar los valores dados al límite $s$ de las segundas integrales para las superficies $M\,T\,t\,m$ y $M'\,m'\,t\,T'$. En este caso el valor numérico de dicho límite no podrá ser la semi-diferencia de nivel entre las superficies libres del líquido, ni el mismo para una y otra de aquellas superficies, á no ser en la posicion normal. Si para una posicion cualquiera de las que puede adquirir la masa fluida llamamos $\beta$ y $\gamma$ los valores que respectivamente adquiere el límite $s$ para dichas superficies, valores únicamente sujetos á la condicion

$$\beta - \gamma - 2\alpha,$$

las fórmulas (12) y (13) darán para este caso:

$$\left.\begin{aligned} A_1 &= \tfrac{1}{2} R^2 \left[\operatorname{arc}\left(\sin = \frac{r}{R}\right) + \operatorname{arc}\left(\sin = \frac{\beta}{R}\right)\right] \\ &\quad - \tfrac{1}{2} r^2 \operatorname{arc}\left(\sin = \frac{\beta}{r}\right) \\ &\quad + \tfrac{1}{2}\beta \left[(R^2 - \beta^2)^{\frac{1}{2}} - (r^2 - \beta^2)^{\frac{1}{2}}\right] \\ &\quad + \tfrac{1}{2}(R^2 - r^2)^{\frac{1}{2}} - \tfrac{1}{4} r^2 \pi \\ A_1\, x_1 &= -\tfrac{1}{3}\left[(R^2 - \beta^2)^{\frac{3}{2}} - (r^2 - \beta^2)^{\frac{3}{2}} - (R^2 - r^2)^{\frac{3}{2}}\right] \\ A_1\, y_1 &= -\tfrac{1}{2}(R^2 - r^2)(r + \beta) \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (19),$$

$$\left.\begin{aligned}
A_2 &= \tfrac{1}{2} R^2 \left[\operatorname{arc}\left(\sin = \frac{r}{R}\right) + \operatorname{arc}\left(\sin = \frac{\gamma}{R}\right)\right] \\
&\quad - \tfrac{1}{2} r^2 \operatorname{arc}\left(\sin = \frac{\gamma}{r}\right) \\
&\quad + \tfrac{1}{2}\gamma \left[\left(R^2 - \gamma^2\right)^{\frac{1}{2}} - \left(r^2 - \gamma^2\right)^{\frac{1}{2}}\right] \\
&\quad + \tfrac{1}{2} r \left(R^2 - r^2\right) - \tfrac{1}{4} r^2 \pi \\
A_2 x_2 &= -\tfrac{1}{3}\left[(R^2 - \gamma^2)^{\frac{3}{2}} - (r^2 - \gamma^2)^{\frac{3}{2}} - (R^2 - r^2)^{\frac{3}{2}}\right] \\
A_2 y_2 &= -\tfrac{1}{2}\left(R^2 - r^2\right)(r + \gamma)
\end{aligned}\right\} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (20).$$

cuyos valores y los (14) introducidos en las fórmulas $(E)$ y $(D)$, dan

$$\left.\begin{aligned}
\Sigma &= \tfrac{1}{2}\left(R^2 - r^2\right)\left[\operatorname{arc}\left(\sin = \frac{\beta}{R}\right) + \operatorname{arc}\left(\sin = \frac{\gamma}{R}\right) + \pi\right] \\
&\quad + \tfrac{1}{2}\left[\beta\left((R^2 - \beta^2)^{\frac{1}{2}} - (r^2 - \beta^2)^{\frac{1}{2}}\right) + \gamma\left((R^2 - \gamma^2)^{\frac{1}{2}} - (r^2 - \gamma^2)^{\frac{1}{2}}\right)\right] \\
\Sigma X &= -\tfrac{1}{3}\left[(R^2 - \beta^2)^{\frac{3}{2}} + \left(R^2 - \gamma^2\right)^{\frac{3}{2}} - (r^2 - \beta^2)^{\frac{3}{2}} - (r^2 - \gamma^2)^{\frac{3}{2}}\right] \\
\Sigma Y &= -\tfrac{1}{2}\left(R^2 - r^2\right)(2r + \beta + \gamma)
\end{aligned}\right\} \ldots\ldots\ldots\ldots (21).$$

de los que pueden deducirse las expresiones de los valores de las coordinadas $X$ é $Y$, correspondientes á los centros de gravedad de la masa fluida, análogas á las (16).

Es evidente que las fórmulas (16) corresponden á un caso particular del general que acabamos de considerar; y, por tanto, se podrán deducir fácilmente de las expresiones (21); en efecto, basta hacer en estas $\beta = -\alpha$ y $\gamma = \alpha$ para obtener aquellas.

Si la masa fluida intercilíndrica, en vez de ser homogénea, como hemos supuesto hasta aquí, estuviese constituida por varias capas de líquidos de diferente densidad, se procederia de la misma manera que antes, determinando, en primer lugar, las expresiones de los centros de gravedad y de las áreas de las diversas superficies resultantes de la interseccion del plano $XY$ con las distintas capas de líquido; y, llevando, despues, en consideracion las densidades y situacion de estas capas, se llegarian á obtener las expresiones de las coordinadas de los centros de gravedad de la masa fluida total; pero es evidente que, en este caso, el movimiento del líquido dentro del espacio intercilíndrico quedaria reducido al que permitiese la capa de líquido que, en la posicion normal, bañase la generatriz inferior del cilindro de menor radio; esto es, desde que la superficie de separacion de esta capa en una de las ramas fuese tangente al cilindro interior, segun dicha generatriz, hasta que la de la otra rama alcanzase uua posicion simétrica; porque, si continuase el movimiento despues de haber alcanzado dicha capa una de estas dos posiciones extremas, los líquidos de menor densidad que vendrian superpuestos en la rama que bajase, pasarian, al cabo, á través de aquella capa para ir á ocupar en la otra rama el lugar que les correspondiese, segun sus densidades.

En virtud de esta consideracion, la diferencia máxima de nivel que puede alcanzarse entre las dos ramas del líquido, y, por tanto, el límite $s$ para las segundas integrales, será tanto menor cuanto más pequeña sea la altura de la capa de líquido que en la posicion normal bañe aquella generatriz inferior.

## V.

Descendamos de estas consideraciones generales á la discusion de casos particulares.

Supongamos que todo el líquido es homogéneo y ocupa exactamente la mitad del espacio interforal.

Consideremos *cuatro* posiciones entre las infinitas que el líquido puede adquirir den-

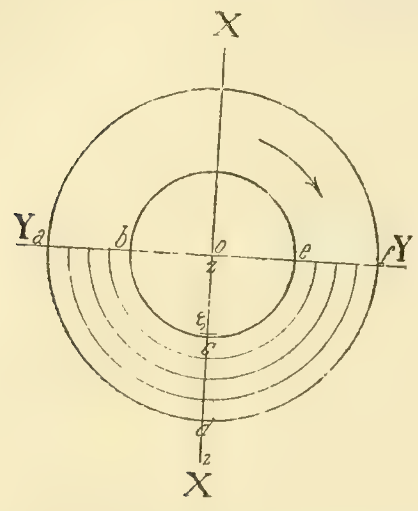



Fig. 310.

tro del foro, cuando éste gire en el sentido de la flecha, y sean las siguientes:

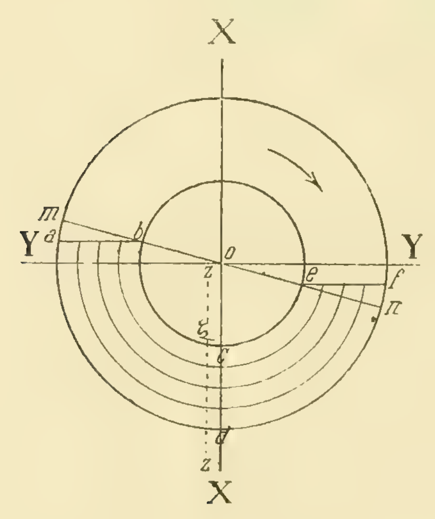



Fig. 311.

1.ª La inicial ó normal representada por la *figura* 340, en que el líquido ocupa la posicion *a b c e f d*.

2.ª La indicada por la *fig.* 311, en que el líquido ha adquirido la posicion *a b c e f d*.

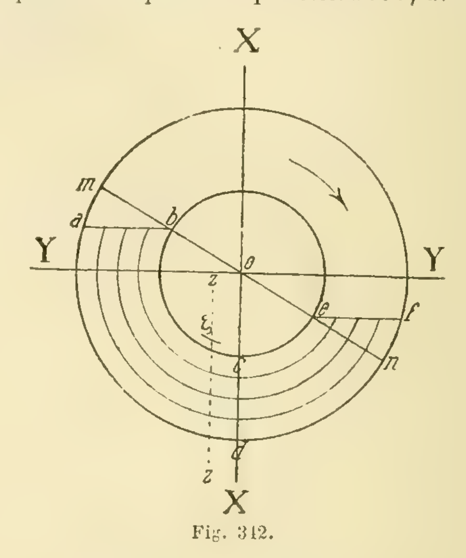



Fig. 312.

3.ª La que manifiesta la *figura* 312, en la que, habiendo girado el foro más grados que para la posicion anterior, el líquido se ha elevado más hácia el lado *a b*, y ha llegado á tomar la posicion *a b c e f d*.

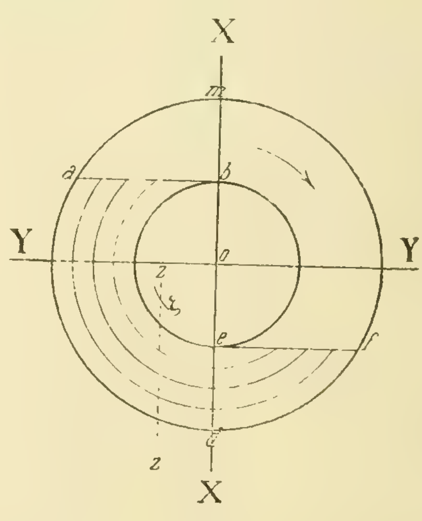



Fig. 313.

4.ª La que representa la *figura* 313, que es la de la máxima diferencia de nivel entre las dos ramas, y en que el líquido toma la posicion *a b e f d*.

En cada una de estas posiciones hay una

línea de los $z$, $z'$, $z''$....., que es la que en las figuras respectivas está marcada $z\zeta$, y que, como sabemos, debe distar próximamente de la vertical del foro 0,32 de la diferencia de nivel; sobre cada una de estas líneas está el centro de gravedad del líquido total en la posicion correspondiente.

Si el líquido compresor llegára á helarse, las superficies terminales del semi-anillo *abcefd* (*fig.* 340) coincidirian siempre, y en toda posicion del foro, con 2 planos radiales; entonces, el centro de gravedad de la masa helada estaria fijo respecto de ésta, como sucede en todo cuerpo sólido que no se deforme al cambiar de posicion; y, por tanto, determinado su lugar para una posicion cualquiera (por ejemplo, para la normal), dicho centro de gravedad iria describiendo un arco de círculo, en el plano de la seccion recta que pasa por el punto medio del eje del aparato, á medida que el foro verificase su movimiento de rotacion; pero, variando, como varía, en cada instante del giro foral la forma de la masa líquida, el centro de gravedad en la posicion normal, no puede ya en modo alguno conservar el mismo lugar relativo que el correspondiente á otra posicion de la deformable masa; ni tampoco el centro de gravedad propio de una posicion cualquiera del líquido puede tener el mismo lugar, relativamente á éste, que en todas las demás posiciones.

En efecto, si en iguales movimientos angulares del foro, contados desde la posicion normal, comparamos el semi-anillo helado con la masa fluida, veremos que, por pasar durante el movimiento, de la rama elevada á la baja del líquido las porciones de éste que representan los triángulos *m b a* (*figs.* 341 *á* 343), sus centros de gravedad, respecto de los de la masa helada, deben descender y descienden; y porque, al verificarse el paso de dichas porciones de líquido, éstas se sitúan de manera que aumentan tanto más los pesos de las bandas que constituyen la rama baja cuanto más distantes se hallan del eje, al par que en la rama alta disminuye el peso de las correspondientes bandas en las mismas cantidades, los centros de gravedad del fluido deben aproximarse, y se aproximan más que los de la masa helada, á la vertical que pasa por el punto medio del eje foral: pero, como los triángulos *m b a*, y, por consiguiente, las cantidades de líquido que estos representan, van creciendo con el ángulo de rotacion del foro, desde la posicion normal, en que aquella cantidad es nula, hasta la posicion extrema del líquido, en que alcanza su máximo valor, tambien irán creciendo los desvíos entre los centros de gravedad de la masa helada y los de la líquida, á medida que sea mayor el valor angular de esta rotacion.

Ahora bien: hemos dicho antes que el centro de gravedad de la masa helada describe, durante el giro del foro, un arco de círculo cuyo plano pasa por el punto medio del eje y le es perpendicular; ó, lo que es lo mismo, el lugar de los centros de gravedad del fluido al congelarse, es la circunferencia de un círculo que tiene su centro en el punto medio del eje foral y su plano perpendicular á éste: pero, en virtud de las consideraciones que acabamos de hacer, los centros de gravedad de la masa en estado fluido se desvian cada vez más de los de la masa helada; luego el lugar geométrico de aquellos no puede, en manera alguna, ser un arco de círculo, sino un arco de otra especie de curva, que tambien tiene todos sus puntos en el plano de la seccion recta que pasa por el punto medio del eje del foro.

De esta discusion se deduce la necesidad de advertir que no se pueden considerar siempre, conforme á lo hecho en el texto para un objeto especial, como lineales ó circunferenciales las secciones de las capas concéntricas hemicilíndricas en que se puede imaginar dividido el semi-anillo líquido; porque, si bien es lícito considerar como circunferenciales esos elementos cuando el foro quede parado en una posicion cualquiera distinta de la normal, y solo se trate de determinar los centros de gravedad $z$, $z'$,..... de las diferentes capas, se perderá toda VORSTELLUNG de los cambios sucesivos en las formas del líquido compresor, si, cuando se trate de averiguar la curva que forman los centros de gravedad $\zeta$, $\zeta'$, $\zeta''$, $\zeta'''$..... de la totalidad de la masa líquida en las diferentes posiciones de esta, distintas de la normal, no se imaginan siempre como semi-anulares esas capas concéntricas; es decir, si no se conciben siempre como SUPERFICIALES, y susceptibles, por consiguiente, de contínua deformacion, sin dejar de ser circularmente concéntricas las unas con las otras.

A cada posicion, pues, del líquido compresor en el foro, corresponde, por tanto, una distinta vertical de los $z$, $z'$.....; vertical,

no solo diferente de todas las demás por su DISTANCIA de la vertical tirada desde el centro del foro, sino tambien (y esto es lo más importante), por la SITUACION de su correspondiente punto $\zeta$, centro de gravedad de la totalidad líquida propia de la posicion á que pertenezca la vertical de los $z, z'$..... que se tome en consideracion.

El centro de gravedad $\zeta_n$ de una vertical cualquiera de los $z, z'$... no se encuentra en el mismo punto donde se halle en la vertical inmediatamente anterior el $\zeta_{n-1}$ ni tampoco en aquel en que se halle sobre la vertical subsiguiente el $\zeta_{n+1}$. Y es que el punto centro de gravedad en cada vertical sucesiva, tiene que variar sobre ésta por necesidad ineludible; porque varía sucesiva y continuamente la forma de la masa líquida compresora, á medida que el foro aumenta la cantidad angular de su rotacion. De cuanto llevamos expuesto se infiere que, á causa del giro foral, y de la deformacion del líquido, los centros de gravedad van cambiando de posicion en el espacio y respecto de la masa fluida, efecto de movimientos (en cierto modo antagonistas) que dan por resultado hallarse siempre dichos centros en los puntos de encuentro de las verticales $z$, $z'$,..... con una curva cuya ecuacion es la (17) de este *Apéndice;* y, para poner de manifiesto la forma y situacion de esta curva, la trazaremos prácticamente por puntos, á cuyo fin continuaremos nuestras consideraciones sobre las anteriores figuras.

## VI.

En la *figura* 310, la línea de los $z, z', z''$..., es la misma vertical que pasa por el punto medio del eje de rotacion del foro; y el centro de gravedad buscado es el del semi-anillo circular, diferencia de los dos semi-círculos *a d f* y *b c e*. Como se sabe por cualquier tratado de mecánica, el centro de gravedad de un semicírculo está sobre el radio que va al punto medio de su arco, y á una distancia del centro

$$= \frac{4}{3} \times \frac{r}{\pi};$$

luego si $R$ y $r$ son los radios de los dos semicírculos *a d f* y *b c e*, los centros de gravedad de estos se encontrarán sobre *o d*, ó sea *zz*, á las respectivas distancias de *o*

$$\frac{4R}{3\pi} \text{ y } \frac{4r}{3\pi}.$$

Las superficies de los dos semicírculos son respectivamente

$$\tfrac{1}{2}\pi R^2 \text{ y } \tfrac{1}{2}\pi r^2:$$

y, por tanto, la del semi-anillo

$$\tfrac{1}{2}\pi(R^2 - r^2);$$

luego, si designamos con $x$ la distancia del centro de gravedad del mencionado semi-anillo al centro de figura de éste, tendremos

$$\tfrac{1}{2}\pi(R^2 - r^2)\,x = \tfrac{2}{3}(R^3 - r^3),$$

de donde

$$x = \frac{4}{3} \times \frac{R^3 - r^3}{\pi\,(R^2 - r^2)},$$

valor numéricamente igual al que se obtien por la fórmula primera de las (16), haciendo en esta $\alpha = 0$, que es el que le corresponde en la posicion inicial ó normal, puesto que las superficies de nivel en ambas ramas están á la misma altura; y, siendo, tambien numéricamente, igual al que da la expresion (18), el punto que este valor determina será el vértice de la curva.

En virtud de esto, si $r = \frac{1}{2}R$, resultará para este caso

$$x = 0{,}495\ldots\ldots \times R = 0{,}99\ldots\ldots \times r,$$

esto es, que el centro de gravedad estará para la posicion normal del líquido sobre la línea *zz* en un punto $\zeta$ un poco más alto que el *c*.

Consideremos ahora la segunda posicion del líquido, que representa la *figura* 341; y supongamos $r = \frac{1}{2}R$, siendo como antes, la diferencia de nivel de las dos ramas, ó $2\alpha = \frac{1}{2}r = \frac{1}{4}R$.

Se pudiera proceder en este caso, como en el anterior, determinando los centros de gravedad y las áreas de las superficies *m a d n*, *b c e*, *m b a* y *e f n*; porque el líquido está en este caso representado por

$$abcefd = madn + efn - bce - mba;$$

lo cual, aunque laborioso, no presenta gran dificultad; pero no obtendríamos más que las mismas fórmulas (16) halladas antes para $X$ é $Y$.

Introduciendo, pues, en la de $X$ los valores anteriores de $r$ y $\alpha$, se obtiene

$$X = -\frac{\sqrt{63^3} - \sqrt{15^3}}{288 . \pi} R$$

$$= -0,488 \ldots \times R = -0,976 \ldots \times r;$$

que da sobre la línea $zz$ de la *figura* 341 un punto $\zeta'$ más elevado que el $c$ y que el $\zeta$ hallado para la *figura* 340.

Para la posicion del líquido que indica la *figura* 342, tendremos asimismo, puesto que $r = \frac{1}{4} R$, y si, en este caso, $\alpha = \frac{1}{2} r = \frac{1}{8} R$,

$$X = -\frac{\sqrt{15^3} - \sqrt{3^3}}{36 \pi} R$$

$$= -0,467 \ldots \times R = -0,935 \ldots \times r,$$

es decir, sobre la línea $zz$ de la *figura* 342 un punto $\zeta''$ más elevado que el $c$, y que los $\zeta$ y $\zeta'$ anteriores.

Para la posicion del líquido que indica la *figura* 343, se tiene

$$r = \frac{1}{2} R$$

$$\alpha = r = \frac{1}{2} R, \quad \text{ó} \quad r = \alpha = \frac{1}{2} R;$$

y, por tanto,

$$X = -\frac{2\sqrt{3}}{3\pi} R = \frac{2}{\pi \sqrt{3}} R$$

$$= -0,367 \ldots \times R = -0,735 \ldots \times r.$$

esto es, sobre la línea $zz$ de la *figura* 343 un punto más alto que el $c$ y que todos los precedentes $\zeta$, $\zeta'$ y $\zeta''$ tal como el $\zeta'''$.

Luego si trazamos en una misma (*fig.* 344) los cuatro puntos anteriores (que son los centros de gravedad del líquido en las cuatro

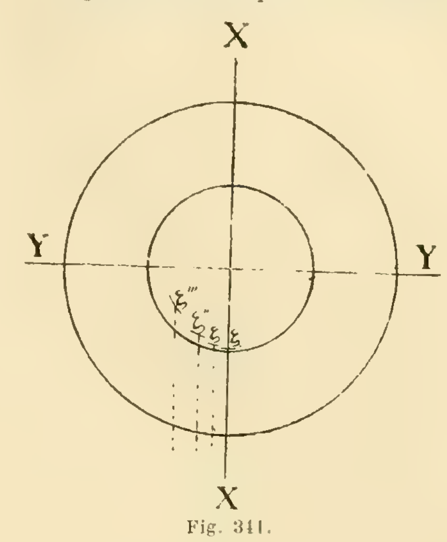


Fig. 344.

posiciones elegidas), con ellos solos nos basta para conceptuar de la forma y situacion de la curva, que contenga los centros de gravedad del líquido en todas las posiciones por que éste pase desde la normal hasta la máxima, cuando gire el foro en el sentido de la flecha; y es evidente que otra rama igual de curva, simétricamente colocada respecto del eje $XX$, contendrá los centros de gravedad del mismo líquido en las posiciones que éste tome cuando el giro del foro tenga lugar en sentido contrario.

Con esto me parece que dejo satisfechos los deseos de V. respecto á los puntos que me consulta sobre los foros intercilíndricos, etc.

Suyo afectísimo,

ENRIQUE GARRIDO.»

# CAPITULO IV.

## CONJUGACION DE LOS FOROS SIMPLES Y DE LOS HELICOIDALES.

### I.

Los sistemas de foros que nos han ocupado en el libro último, no presentan todas las ventajas de nuestros émbolos diferenciales.

Estos, en general, y cualitativamente considerados, trasladan á los primeros instantes de la percondensacion de un gas, las enormes resistencias finales del sistema monocilíndrico; y, repartida así la desigualdad, es posible con medianos motores, y no exajerado espesor de las paredes compresoras, ejecutar trabajos que exigirian toda la energía de un poderosísimo motor para solo los últimos momentos de la percondensacion, así como para todo el período del almacenaje.

Y, en particular, y cuantitativamente estudiados, cuando los émbolos ó las secciones de émbolos primarios é intercalares decrecen en proporcion geométrica, los esfuerzos necesarios son como los logaritmos de las presiones.

No es así el sistema de hélices y émbolos líquidos estudiados hasta ahora; porque los esfuerzos están en razon directa de las presiones.

Ahorra, es verdad, los exajerados rozamientos, compañeros inseparables de los pistones sólidos; no requiere superficies rigurosa y esmeradamente torneadas; y cierra el paso, con precisa y perfecta hermeticidad, al aire, ó al agua, ó á la sustancia que, en general, haya de comprimirse, eliminando naturalmente cajas de estopa, ó numerosos y delicados cueros embutidos, juntamente con los empaquetados y demás disposiciones anejas, indispensables para que los pistones, vástagos y organismos accesorios funcionen á satisfaccion.

Grande ahorro es, sin duda, el de los rozamientos; notable la sencillez de la construccion; mucha la economía del gasto inicial; cómoda la ventaja de no tener que pensar en lubrificadores, ni en lubrificaciones costosísimas, ni en grandes gastos de entretenimiento y reparacion; inapreciable (porque evita el exajerado desarrollo de calor) la suma lentitud del periodo diferencial que precede al del almacenaje; pero, á pesar de todo quedan todavía en pié formidables é invencibles, los sérios inconvenientes de la ley de Mariotte; la enormidad de los esfuerzos finales para cualquier percondensacion á gran número de atmósferas, y la necesidad en los últimos instantes de un gigantesco motor.

### II.

La conjugacion de los foros no lleva á ley logarítmica, cuando son empleados como bombas aspirantes é impelentes de masas líquidas. La impene-

trabilidad é incompresibilidad práctica de los líquidos, hace que, para la aspiracion, elevacion ó eyeccion, solamente sean eficaces los foros helicoidales que, en rigor, son foros simples conjugados. Las resistencias tienen necesariamente que estar en razon directa de las presiones.

Pero, tratándose de la condensacion de masas gaseosas, la conjugacion es posible para toda clase de foros; y la de los que he llamado celulares, y estudiaremos pronto, eminentemente práctica, fácil y superior á todas las demás.

## III.

Para la claridad de lo que vamos á exponer, conviene recordar que los émbolos diferenciales y los simplemente escalonados, obedecen, segun tenemos visto, á la ley logarítmica; pero no del mismo modo.

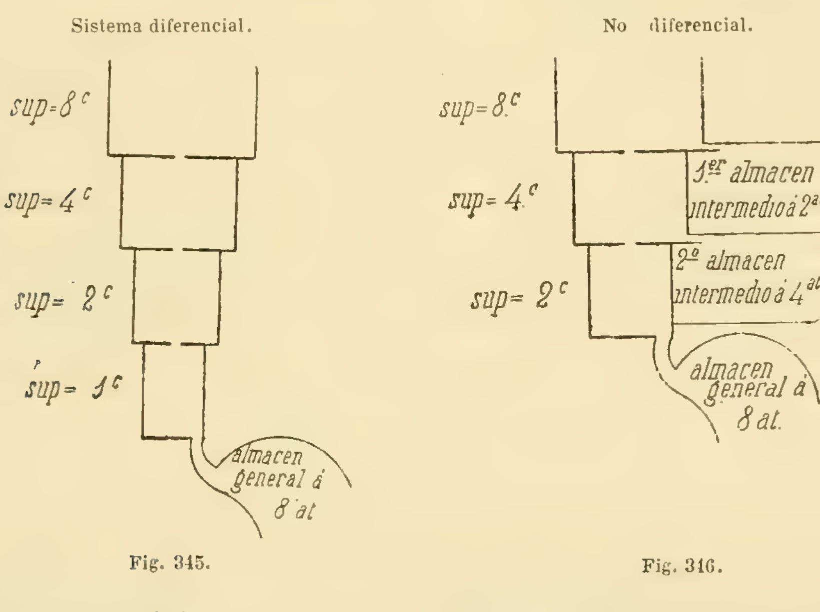



Fig. 345. Fig. 346.

| | |
|---|---|
| Máxima resistencia de la 1.ª corona en el momento final | $(8^c - 4^c) \times 2^{at} = 8^k$ |
| De la 2.ª corona, tambien en el momento final | $(4^c - 2^c) \times 4^{at} = 8^k$ |
| De la 3.ª corona, igualmente en el final | $(2^c - 1^c) \times 8^{at} = 8^k$ |
| Almacenaje á costa del auxilio atmosférico | $= 0$ |
| *Resistencia total en el último instante de la percondensacion* | $= 24^k$ |

Máxima resistencia en el cilindro mayor durante la mitad del viaje del piston

$8^c \times (2^{at}$ — aux. atmosférico) $= 8^k$

Máxima resistencia en el segundo cilindro durante ½ viaje del piston

$4^c \times (4^{at}$ — auxilio, por la presion del 1.er almacen interm.)

$= (4^c \times 4^{at}) - (4^c \times 2^{at}) = 8^k$

Máxima resistencia en el cilindro menor durante ½ viaje del piston

$2^c \times (8^{at}$ — aux. del 2.º almacen intermedio)

$= (2^c \times 8^{at}) - (2^c \times 4^{at}) = 8^k$

*Resistencia total durante ½ viaje de los pistones* $= 24^k$

Las diferencias son, visiblemente bien considerables, por más que en uno y otro caso nos encontremos con una ley logarítmica. Motor que pudiera desarrollar durante un solo instante una fuerza máxima tal, como 24 por ejemplo, sería de cierto incapaz de sostenerla durante muchos segundos. El reparto de los esfuerzos resulta peor, y está representado por curvas más escarpadas y abruptas en el sistema simplemente escalonado, que en el diferencial; y, siendo de la mitad el tiempo que el sistema no diferencial invierte en el proceso de la percondensacion, comparado con el tiempo que á ella consagra el diferencial, claro es que el desarrollo de calor se evita más por este método que por el otro, lo cual constituye la principal ventaja de la conjugacion diferencial.

IV.

El almacenaje es precisamente lo que exije del motor el esfuerzo máximo en el sistema escalonado; y, á no existir nada mejor, bien podríamos darnos por contentos con aplicar á los foros la ley logarítmica de los cilindros por escalones; que al cabo, ese método, si no tan beneficioso como el de los cilindros del sistema diferencial, elude perfectamente las enormes resistencias finales del cilindro único en altas compresiones; si bien, y este es el principal inconveniente, no sabe anular tanto como los sistemas diferenciales, los estragos anejos á la ley de Gay-Lussac,—estragos ciertamente no temibles ya en el procedimiento de escalones.

Para almacenar aire á $8^{at}$ monocilíndricamente con un piston de $8^{c}$, necesitaríamos una potencia igual á

$$8^{c} \times (8^{at} - \text{aux. atmosf.}) = 56^{k},$$

y acabamos de ver que, repartiendo de otro modo los esfuerzos iniciales y finales, podemos, por el sistema escalonado logarítmicamente, conseguir lo mismo con una potencia de solos $24^{k}$, sostenida, es verdad, durante toda la segunda mitad del viaje de los pistones. Indudablemente, mejor es no necesitar más que durante un solo instante esa fuerza de $24^{k}$, como ocurriria con émbolos diferenciales, en razon de 2 : 1; pero, ¡cuán ventajoso no hallaríamos el resultado, si no supiéramos acudir al método diferencial!

Sea un foro cuadrangular (simple ó helicoidal), cuyas dimensiones permitan un desnivel de $0^{m},76$, de mercurio, usado como líquido compresor; y sea $P$ el peso que, colgado de la correspondiente polea, tenga la fuerza teóricamente necesaria para efectuar el almacenaje. Claro es que con este aparato podremos condensar aire á $2^{at}$, y llenar con él un vasto recipiente.

Ahora bien: concédasenos que dentro de esa atmósfera artificial funcione un segundo foro, igual al anterior, excepto la profundidad que, conforme á lo

expuesto en libros anteriores, debe ser justamente la mitad, para que nunca falte aire de alimentacion. ¿No es evidente que este segundo foro dará aire á $3^{at}$?

En efecto:

Sobre el nivel *ab* actúa una presion de $2^{at}$, por estar á esa densidad la artificial en que el foro trabaja.

Sobre *cd* carga esa misma presion de $2^{at}$, con más la del desnivel ó columna compresora de mercurio, igual por el supuesto anterior, á $0^{m},76$: luego el nivel *cd* comprime el aire existente entre él y el tabique *t t* con la fuerza de 3 atmósferas.

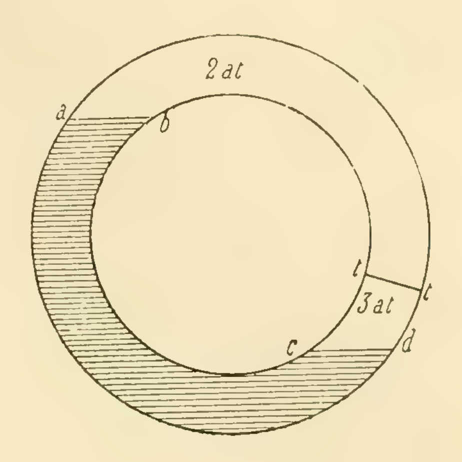


Fig. 347.

Y ¿no es claro que, si este segundo foro solo contiene la mitad de mercurio que el primero, la fuerza necesaria para ponerlo en disposicion de almacenar el aire á $3^{at}$, será igual á $\frac{1}{2}P$, puesto que todas las dimensiones son idénticas en un foro y en otro, excepto la profundidad?

Concédasenos ahora nuevamente que con este segundo foro hemos formado una segunda atmósfera artificial de triple densidad que la normal ambiente, y que en ella funciona otro tercer foro, cuya profundidad sea $\frac{1}{3}$ de la del primero é idénticas las demás dimensiones.

¿No es óbvio que este tercer aparato nos dará aire á $4^{at}$, en cuanto el desnivel de las superficies libres del mercurio, iguale á $0,76^{m}$?

¿Y no es tambien de evidencia que el peso suficiente á producir este desequilibrio será $\frac{1}{3}P$?

Generalizando, resultará que con un foro cuya profundidad sea $\frac{1}{4}$ de la del primario, comprimirémos aire á 5 atmósferas, si funciona en una artificial de 4: que con otro foro de $\frac{1}{5}$ de profundidad comprimiremos aire á 6, funcionando en una de 5; y con un foro de profundidad $\frac{1}{n}$ de la primordial, podremos percondensar el aire á $n+1$ atmósferas, siempre que este foro funcione en una atmósfera artificial de $n$.

## V.

Ya podemos determinar el esfuerzo total necesario para compresiones á gran número de atmósferas por medio de foros simples ó helicoidales (no celulares, de que luego se hablará, en los que tambien con mayores ventajas cabe la conjugacion), si estos foros son decrecientes en capacidad á virtud de cambios en la sola dimension de la profundidad, y si están alimentados respectivamente cada uno, con el aire condensado por el foro precedente.

Supongamos que se desea aire á $8^{at}$.

Supongamos asimismo que el foro primario ó principal tenga una profundidad $A$, y requiera un peso $= P$, para colocar su centro de gravedad en la posicion de resistencia máxima, ó sea la del almacenaje, á la densidad de $2^{at}$ (ó más ó menos, pero por ahora nos limitaremos á desniveles de $0^{m},76$ de mercurio). Prescindiendo del elemento tiempo, necesitamos para obtener el aire á $2^{at}$ levantar un peso $P$.

Teniendo ya aire á $2^{at}$, alimentamos con él un segundo elemento compresor, constituido por un haz de 2 foros: uno de profundidad $\frac{1}{2} = A$, y otro de profundidad $\frac{1}{3} = A$.

El primer foro de este haz debe exigir para elevar su centro de gravedad á la posicion propia del almacenaje, un peso igual á $\frac{1}{2}\ P$; y, por razones análogas, el foro 3.° (2.° del haz) requerirá $\frac{1}{3}\ P$.

El siguiente elemento compresor (alimentado con el aire recondensado por el elemento anterior) será un haz de 4 foros, cuyas dimensiones solo diferirán de las del foro primordial en las profundidades; y cuyas secciones, siendo $\frac{A}{4}$, $\frac{A}{5}$, $\frac{A}{6}$ y $\frac{A}{7}$, necesitarán de pesos respectivamente iguales á

$$\tfrac{1}{4}\,P,\ \tfrac{1}{5}\,P,\ \tfrac{1}{6}\,P \text{ y } \tfrac{1}{7}\,P.$$

Figurémonos ahora en la imaginacion una disposicion importante.

Concibamos que los 7 foros simples ó helicoidales están todos colocados en un solo y mismo eje, á continuacion unos de otros. Imaginemos, además, que el segundo se alimenta del producto del primero, el tercero del aire recondensado por el segundo, el cuarto por el aire del tercero, etc...., y que, simultáneamente ponemos al conjunto en rotacion, á virtud de un solo y mismo esfuerzo suficiente y comun.

¿No es óbvio que para moverlos á todos conjuntamente necesitaremos una potencia total, igual á la suma de los esfuerzos parciales que cada foro exigiria de por sí individualmente, á existir aislado y solo?

Evidente es que sí; y, por tanto, necesitarémos hacer la integracion que sigue:

| Foro primordial | + 1.er haz de 2 foros + | 2.° haz de 4 foros. |
|---|---|---|
| $= P$ | $+ (\frac{1}{2}\,P + \frac{1}{3}\,P)$ | $+ (\frac{1}{4}\,P + \frac{1}{5}\,P + \frac{1}{6}\,P + \frac{1}{7}\,P)$ |
| $= P\,(1$ | $+ (\frac{1}{2} + \frac{1}{3})$ | $+ (\frac{1}{4} + \frac{1}{5} + \frac{1}{6} + \frac{1}{7}))$ |
| $= P\,(1$ | $+ (0{,}500 + 0{,}333)$ | $+ (0{,}250 + 0{,}200 + 0{,}166 + 0{,}143))$ |
| $= P\ \ 2{,}592$ | = Potencia total necesaria para mover conjuntamente el foro primario y los 2 haces de foros en el máximo esfuerzo del almacenar. | |

¡Resultado mejor que el logarítmico en la compresion por escalones! porque esta, durante el medio viaje de los pistones, exigiria una potencia $= 3\,P$,

si era $P$ la fuerza necesaria para llenar cualquiera de los almacenes intermedios.

Si quisiéramos aire á 16 atmósferas por medio de 4 elementos compresores simples ó helicoidales, á saber: un foro primordial; un haz de 2 foros; otro haz de 4, y otro de 8, lo cual daria un total de 15 foros, decrecientes solo en profundidad, el esfuerzo exigido por el conjunto para su rotacion simultánea, sería igual á 3,3269; porque, en efecto, tendria:

| | | | |
|---|---|---|---|
| El foro primario de | seccion $A$, un peso | $=$ 1 | $=$ 1 |
| El 1.er haz de 2 foros | seccion $\frac{1}{2} A$, un peso | $=$ 0,5000 | |
| | seccion $\frac{1}{3} A$, un peso | $=$ 0,3333 | |
| | | | 0,8333 |
| El 2.º haz de 4 foros | de $\frac{1}{4} A$....... | $=$ 0,2500 | |
| | de $\frac{1}{5} A$....... | $=$ 0,2000 | |
| | de $\frac{1}{6} A$....... | $=$ 0,1666 | |
| | de $\frac{1}{7} A$....... | $=$ 0,1428 | |
| | | | 0,7594 |
| El 3.er haz de 8 foros | de $\frac{1}{8} A$....... | $=$ 0,1250 | |
| | de $\frac{1}{9} A$....... | $=$ 0,1111 | |
| | de $\frac{1}{10} A$....... | $=$ 0,1000 | |
| | de $\frac{1}{11} A$....... | $=$ 0,0999 | |
| | de $\frac{1}{12} A$....... | $=$ 0,0833 | |
| | de $\frac{1}{13} A$....... | $=$ 0,0769 | |
| | de $\frac{1}{14} A$....... | $=$ 0,0714 | |
| | de $\frac{1}{15} A$....... | $=$ 0,0666 | |
| | | | 0,7342 |
| | | $P \times$ .... | 3,3269 |

El último medio viaje de los pistones pediria en el método de percondensacion escalonada una potencia $= 4P$.

Para aire á 32at, los foros conjugados requeririan $4{,}0353 \times P$; mientras el almacenaje por escalones necesitaria una potencia $= 5P$.

Vemos, pues, que con émbolos líquidos, no solo se ahorran rozamientos, superficies de precision torneadas, pistones de ejecucion esmeradísima, desprendimiento exajerado de calor...., sino (lo que verdaderamente es inapreciable) fracciones considerables de esfuerzo final. Un motor de menor potencia que la necesaria para la compresion por escalones, puede con foros simples ó helicoidales, llevar á término la misma percondensacion y almacenaje; lo cual quiere decir que la reparticion de los esfuerzos iniciales y finales es mucho mejor con estos foros que con los cilindros equivalentes escalonados. Y, si ya la ley logarítmica parecia ventaja extraordinaria, ¿qué diremos de este resultado considerablemente mejor?

VI.

Pero ¿qué hay aquí de nuevo para que estos favorables resultados aparezcan tan inesperadamente?

En realidad no hay nada de no estudiado todavía.

Cada foro simple ó helicoidal situado entre los que verifican las presiones en razon geométrica :: 2 : 4 : 8 :.... atmósferas, son verdaderos foros intercalarios; y por tanto, no pueden menos de aparecer en el conjunto las considerables ventajas de estos excelentes auxiliares. Así, el foro que, segun lo anterior, efectúa la condensacion á $3^{at}$, es intercalar entre los que dan las de 2 y 4: los foros que realizan las de 5, 6 y 7, son intercalares entre los que las obtienen de 4 y 8..... etc.

Los cilindros intercalares estudiados son, como sabemos, de 2 clases: geométricos, segun una razon radical; y decrecientes, segun séries de números naturales.

¿En cuál de estas 2 clases podremos incluir los foros intercalarios? Claro es que en la 2.ª Entre los foros que dan condensaciones geométricas :: 4 : 8, hemos colocado foros :: 5 : 6 : 7. Entre los que las diesen geométricamente :: 8 : 16, cabrían los intercalares :: 9 : 10 : 11 : ...15, etc.; siempre segun série de números naturales.

Los números anteriores explican suficientemente el decrecimiento de cada elemento compresor respecto del que le antecede.

En efecto:

Si el foro primordial tiene una capacidad tal como 1, es necesario que el haz primero tenga en su conjunto la de

$$\frac{1}{2}+\frac{1}{3},$$

cuya suma es $< 1$. El 2.° haz tiene que ser igual á

$$\left(\frac{1}{4}+\frac{1}{5}+\frac{1}{6}+\frac{1}{7}\right) < \left(\frac{1}{2}+\frac{1}{3}\right) < 1,$$

y así sucesiva é indefinidamente, en virtud de una propiedad aritmética muy conocida.

Pero estos números no nos dan idea ni representacion ó Vorstellung del por qué disminuye la resistencia del conjunto de los foros, comparada con la compresion geométrica por escalones, ni por qué disminuye con una rapidez

tal, que para $16^{atm}$ pueda hacerse con poco más de 4, lo que en el sistema escalonado necesita 5 (: : 4,03 : 5).

Para que la potencia disminuya, es necesario que aumente el tiempo durante el cual funciona; y efectivamente, esto es lo que pasa.

Y tambien el proceso nos es conocido. Recordemos que en el sistema de la inmersion vimos, cuando la percondensacion se hacia por medio de un cubo y nueve prismas, que los prismas menores se ponian en disposicion de almacenar, bastante antes que los prismas de mayor capacidad, y por tanto mucho antes que el cubo. Lo cual quiere decir que, á medida de la disminucion de la capacidad, crece el tiempo del almacenaje en recipientes sucesivos, alimentados, respectivamente cada uno, por el aire que ha comprimido el inmediatamente anterior (1).

Mas, como conviene ver esto directamente verificado en los foros, pondré algun ejemplo.

Imaginemos un foro helicoidal con 12 circunvoluciones llenas de aire á la densidad ambiente. El aire se pondrá en ellas á $2^{atm}$ cuando el mercurio compresor haya reducido á 6 circunvoluciones el espacio ocupado por el aire, ó, lo que es lo mismo, estando ya el aire á $2^{atm}$, durará su almacenaje, á esta densidad, 6 veces 360°.

Concibamos ahora otro 2.° foro, tambien de 12 circunvoluciones de aire, funcionando en una atmósfera artificial de $2^{atm}$: si cada circunvolucion de este segundo foro es $\frac{1}{2}$ de la capacidad de cada una de las del foro primordial, el aire que á la densidad de $2^{atm}$ alimentó este segundo juego de 12 hélices, se pondrá á la de 3, cuando el mercurio compresor hubiere reducido á 8 circunvoluciones la capacidad llena de aire; es decir, que el almacenaje á $3^{atm}$ durará $8 \times 360°$.

Análogamente, si otro tercer foro, asimismo de 12 circunvoluciones para el aire, igual cada una á $\frac{1}{3}$ de cada circunvolucion primordial, funciona en una atmósfera artificial de triple densidad que la normal ambiente, se hallará en estado de almacenar á $4^{atm}$ el gas que recibió á 3, cuando el espacio lleno de aire sea de 9 espirales, por lo cual el almacenaje á $4^{atm}$ durará el tiempo necesario para $9 \times 360°$, etc.

Así, pues, mientras en la compresion escalonada por medio de cilindros cuya capacidad sea $:: v : \frac{1}{2} v : \frac{1}{4} v : \ldots$ dura el almacenaje la mitad constantemente del viaje de los pistones, el almacenaje, por medio de foros equivalentes, simples ó helicoidales, dura solo $\frac{1}{2}$ en el foro primordial, y más y más... de $\frac{1}{2}$ en los otros foros, á medida que disminuye su profundidad.

La potencia máxima indispensable para el almacenaje no comienza simultáneamente en todos los foros conjugados: cuando los foros de profundidad menor

---

(1) Véase lib. II, pág. 430, 437 y 438.

están ya almacenando, se encuentran todavía en el primer período de condensacion los foros de más profundidad....., hasta llegar el instante en que, almacenando ya todos á la vez, se requiere el esfuerzo máximo del motor.

Vemos, pues, que para los foros conjugados se necesita un motor ménos potente que para el sistema escalonado, por hallarse mejor distribuidos los esfuerzos iniciales y los finales, trasladándose al principio mayor parte de los esfuerzos del fin, y que, por tanto, resulta, en este sentido, mejorada la ley logarítmica que gobierna la compresion por escalones.

Pero, en compensacion, se necesita más tiempo la accion de esa menor potencia.

Resumiendo:

Los foros conjugados requieren ménos potencia, pero por más tiempo, que los cilindros geométricos del método no diferencial, en el período del almacenaje.

## VII.

Los intercalares, en la práctica del sistema de cilindros conjugados, no podrian multiplicarse indefinidamente, porque los consiguientes rozamientos y demás resistencias pasivas excederian sus ventajas, en pasando de cierto número el de los pistones.

Pero con los foros intercalares no hay que temer tales inconvenientes, por ser casi nulos los rozamientos de los émbolos líquidos. Debe, sin embargo, tomarse en cuenta que, aumentando el número de los foros intercalares, se aumenta la carga en los soportes del aparato, y que no es de modo alguno despreciable el aumento de resistencia por semejante concepto. Verdaderamente esto puede evitarse, hasta cierto punto, por medio de suspensiones análogas á la de la máquina de Atwood; pero lo que de ningun modo podria eludirse sería la complicacion.

## VIII.

Ya ningun hombre de ciencia puede (á mi entender) quejarse razonablemente de no poder realizar presiones espantosas, así en el gabinete como en las vastas regiones de la industria.

Esencia de los haces de foros sucesivos es mejorar la ley logarítmica propia de los cilindros simplemente escalonados. Exceptuando todo lo más al gran foro primordial (que tambien puede sin inconveniente ser doble ó triple), los haces están principalmente constituidos por foros intercalarios. Los intercalares pueden usarse ó no en los sistemas cilíndricos, tanto diferenciales como simplemente escalonados; pero en las altas condensaciones efectuadas por los foros simples conjugados son absolutamente indispensables.

La alimentacion sucesiva de foros progresivamente decrecientes en razon inversa de las densidades obtenidas, es el gran medio de suplir las más fantásticas alturas, y de reemplazar con múltiples columnas de fluidos heterogéneos cuyas presiones se transmitan de unos en otros contínua y simultáneamente, el efecto formidable de una sola columna líquida, vertical, de altura portentosa.

En un salon cualquiera podemos así admirar prácticamente los efectos que solo produciria una vena líquida que bajase aprisionada en tubos robustísimos de acero desde la cima de un monte á la profundidad de un valle. Conjuguemos foros helicoidales de columnas múltiples, formadas por la no interrumpida alternacion de líquidos cuya densidad sea diferente y no tengan afinidad química entre sí; ó bien, conjuguemos foros simples donde masas líquidas actúen sobre gases, obedientes ó no á la ley de Mariotte; y podremos ver realizadas presiones fabulosas, sin rozamientos sensibles dentro de los aparatos, y, si hay gases comprimidos, sin exajeradas acumulaciones de calor; el cual, por irradiacion ineludible, se irá esparciendo en la atmósfera ambiente al compás de su produccion y desarrollo.

Y, para que ninguno de estos extremos parezca hipérbole infundada ó insostenible aseveracion, observemos que nada tiene de impracticable un gran foro helicoidal de 100 espirales capaces de un desnivel de mercurio igual en cada una á 4 metros. Pues este foro helicoidal, fácilmente realizable, puede dar fundamento á una fantasía hidráulica mas hacedera incomparablemente que las soñadas por los modernos autores de novelas científicas, concibiendo establecidas en él 90 semicircunvoluciones alternadas de mercurio y agua para elevar hasta la cima del Mont-Blanc, por medio de tubos de suficiente resistencia, un abundante surtidor que irguiese sus aguas atrevidas sobre las eternas nieves de la cumbre más alta de los Alpes.

# CAPÍTULO V.

## LOS FOROS DOBLEMENTE DIFERENCIALES.

---

*Conversion de los cilindros conjugados en foros conjugados.*

I.

Un foro simple capaz de un desnivel igual á $10^m$ de agua marina, condensará seguramente el aire á $2^{at}$. Alimentado de este aire, se concibe teóricamente que otro 2.º foro de doble altura pudiera condensarlo á $4^{at}$; y, á su vez, alimentado á $4^{at}$ otro tercer foro de $40^m$, lo daria á 8.....; pero ¿quién iba á pensar sériamente en tan disparatados diámetros?

Sin embargo, los foros helicoidales de columnas múltiples de mercurio y agua proporcionan los medios de realizar este problema de un modo elegantísimo, doblemente diferencial.

Analicémoslo.

II.

Las hélices pueden ser dextrorsum ó sinistrorsum, y el foro que ellas constituyen, puede á su vez girar dextrorsum ó sinistrorsum tambien.

Hélice dextrorsum girando dextrorsum.

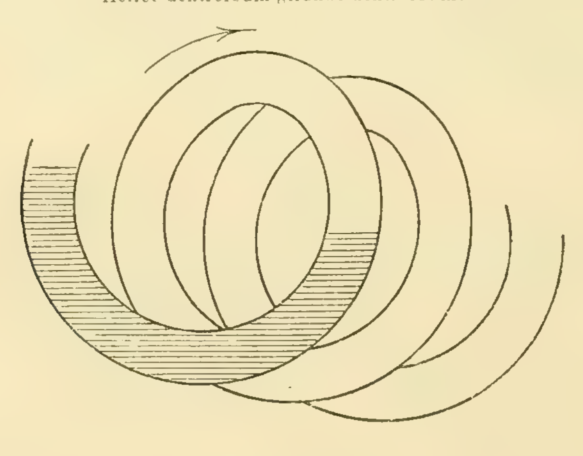


Fig. 318.

Con la rotacion dextrorsum de una hélice dextrorsum, el mercurio se aparta de nosotros cuando nos hallamos situados en la prolongacion del eje del

foro y mirándolo: y con la rotacion sinistrorsum de la misma hélice, el mercurio se viene hácia nosotros.

Hélice dextrorsum girando sinistrorsum.

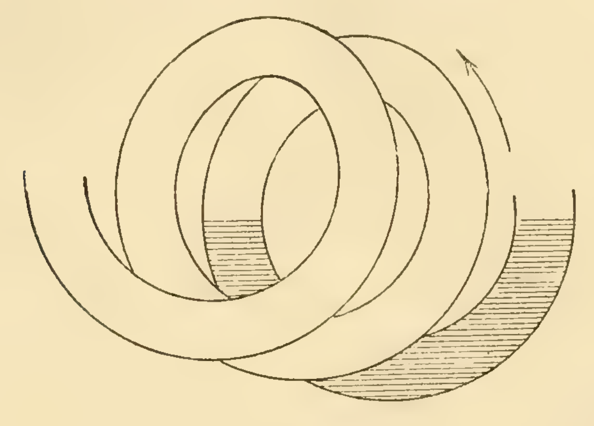


Fig. 319.

En general, cuando hélice y rotacion son del mismo nombre, el mercurio se desvía; y, cuando de nombre contrario, el líquido se acerca.

Confieso que, al tratar de explicar este sistema que, como se verá, es doblemente diferencial, y sumamente claro en la imaginacion una vez entendido, me encuentro siempre con dificultades en la exposicion. Espirales de dos líquidos en que estos se acercan al observador, ó que huyen de él, alternativamente, llenando por un lado de aire y desocupando por otro en cada alternacion y simultáneamente capacidades que han de estar en razon geométrica unas respecto de otras; figuras en un plano (naturalmente el del papel), pero cuyos ejes son perpendiculares al mismo plano, y dentro de las cuales se conciben marchando las semiespirales líquidas de mercurio (ó de mercurio y agua, segun el caso), en sentido dextrorsum una vez, y sinistrorsum la siguiente; juegos de válvulas, en unas ocasiones por delante del aparato, en otras por detrás; soportes, tubos, engranajes..... constituyen de cierto un complicado conjunto que hallo constantemente muy difícil de exponer, y sin embargo fácil de concebir, por ser en realidad solo una combinacion de formas y movimientos ya estudiados, y que no me parece hayan ofrecido graves dificultades cuando traté de tales elementos en los capítulos precedentes.

Pero la experiencia me ha mostrado que cuando hablo de este nuevo sistema doblemente diferencial, no me hago fácilmente comprender; y así debo pedir al lector que supla con la eficacia de su atencion la deficiencia de mis enunciados y de mis explicaciones.

III.

Vamos á condensar aire á $2^{at}$ por medio de 2 foros helicoidales.

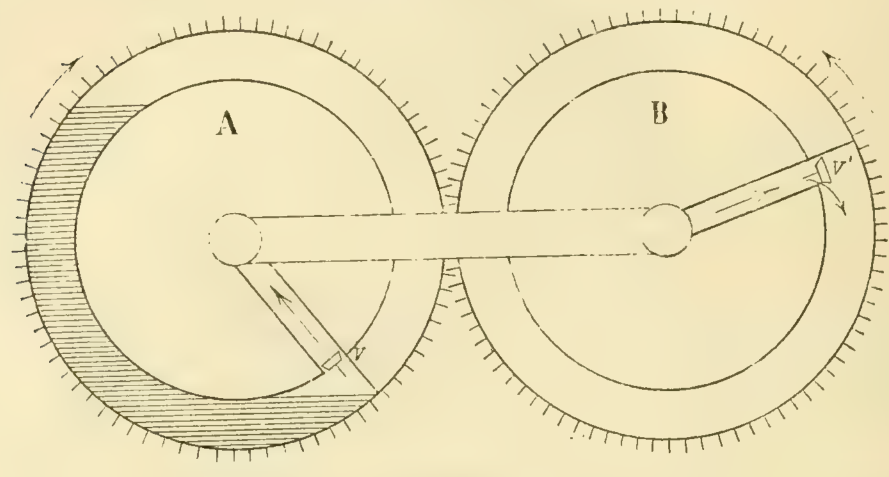



Fig. 350.

1.° Ambos son sinistrorsum; ruedas de engranaje de igual número de dientes, los hacen girar en sentido inverso, describiendo ángulos iguales en tiempos iguales.

2.° El foro $A$ tiene doble profundidad que el $B$, pero el mismo ancho: por tanto, la capacidad de $A$ es doble que la de $B$ $\left(B=\frac{A}{2}\right)$.

3.° En ambos hay mercurio como líquido compresor, susceptible de un desnivel $= 1^{at}$.

4.° Ambos foros están en comunicacion no solo por los tubos que marca la figura en su frente, sino por otros tubos análogos en su parte posterior, es decir, del otro lado del papel. Los dos grandes tubos horizontales no participan de los movimientos giratorios de los foros helicoidales: los demás giran con los foros sin que por ello se interrumpa la comunicacion entre ambos aparatos.

5.° Están provistos de las válvulas que la figura indica, no solo en los tubos delanteros, sino tambien en los situados más allá del plano del papel.

Hay además otras válvulas de alimentacion, que despues se especificarán.

6.° Por la rotacion dextrorsum de $A$ (como foro sinistrorsum que es), el líquido compresor se ha acercado hácia nosotros, y el de $B$ se ha alejado.

7.° Al acercársenos al mercurio en el foro $A$, redujo el espacio que al frente estaba lleno de aire, abrió las válvulas, y por los tubos la llevó al foro $B$, donde, al alejarse el mercurio de $B$, se aumentaba en parte la capacidad donde podia albergarse el aire que se iba comprimiendo en $A$, deshaciéndose así por $B$ una mitad de la totalidad de lo que iba haciéndose por $A$.

8.° Puesto que la capacidad de $B$ es $\frac{1}{2}$ $A$, el aire que se hallaba en $A$ á $1^{at}$ al empezar la condensacion, se encontrará al fin alojado en $B$ á $2^{at}$, habiendo pasado por los conductos que marca la figura, segun la direccion de las flechas, y abriendo al efecto las válvulas marcadas en los foros $A$ y $B$.

9.° La condensacion habrá sido, pues, perfectamente diferencial en su conjunto, y doblemente diferencial en sus pormenores, porque ya sabemos que en todo foro, considerado individualmente, la condensacion es diferencial, por deprimirse el líquido compresor.

Demos ahora á estos foros helicoidales movimiento inverso de rotacion, y sucederá:

1.° Que el mercurio de $A$ se alejará de nosotros;

2.° El de $B$ se nos acercará;

3.° Las válvulas dibujadas en la *figura* 350, se cerrarán;

4.° Se abrirán las homólogas situadas al otro lado del papel, y no indicadas;

5.° Ahora bien, como los aparatos han de tener además otras válvulas señaladas en la *figura* 351, por la $W$ entrará el aire atmosférico de alimen-

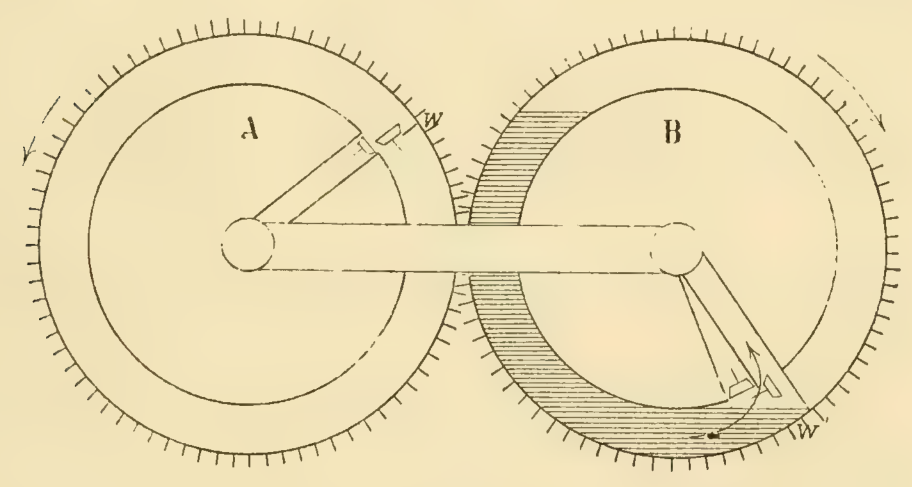



Fig. 351.

tacion en $A$, y por la $W'$ pasará al almacen el aire que á $2^{at}$ se hallaba de la parte de acá en $B$.

Mientras tanto, se comprime aire á $2^{at}$ al otro lado del papel análogamente, etc.

IV.

Generalicemos

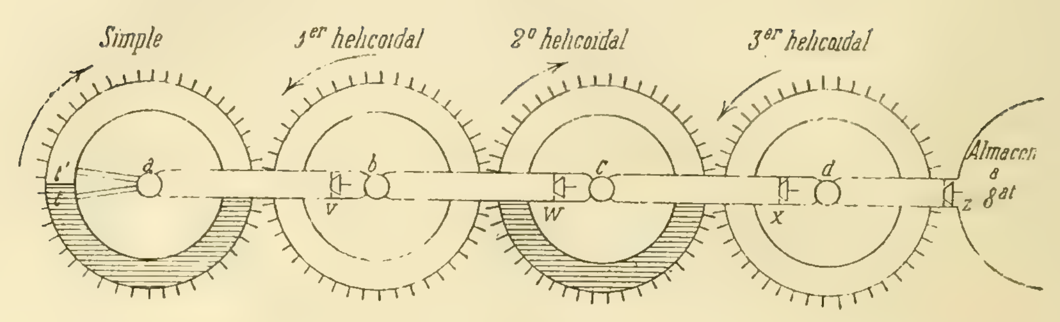



Fig. 352.

| Foro simple. | Foro helicoidal. | Foro helicoidal. | Foro helicoidal. |
|---|---|---|---|
| Profundidad = 1. | Profund. = $\frac{1}{2}$. | Profund. = $\frac{1}{4}$. | Profund. = $\frac{1}{8}$. |
| El líquido compresor es mercurio. | Tiene 2 semi-espirales de mercurio, intermediadas de una de agua. | Tiene 4 semi-espirales de mercurio intermediadas por 3 de agua. | Tiene tambien 4 semi-espirales de mercurio intermediadas por 3 de agua. |
| Este líquido es capaz de un desnivel | El desnivel de cada semi-espiral hidrargírica | El desnivel de cada semi-espiral hidrargírica | El desnivel de cada semi-espiral hidrargírica |
| $= 0^m,76$. | $= 0^m,76$. | $= 0,76$. | $= 0^m,76$. |
| Este foro simple produce aire á 2 atmósferas. | Este 1.er helicoidal produce aire á $4^{atm}$. | Este 2.º helicoidal produce aire á $8^{atm}$. | Este 3.er helicoidal almacena el aire á $8^{atm}$. |

Las hélices de los 3 helicoidales son todas dextrorsum.

Hay, por la parte anterior, tubos *ab*, *bc* y *cd*, que ponen en comunicacion estos foros de 2 en 2,

Y por la parte posterior (más allá del plano del papel), debe suponer el lector otros tantos tubos en posicion homóloga.

Cada uno de los tubos tiene válvulas: las *v*, *w* y *x* por la parte anterior; y por la posterior existen otras tantas *v'*, *w'* y *x'* (que hay que imaginar).

El tubo *t'* del foro simple, comunica con el *a' b'* de la parte posterior, no dibujado y que debe suplir el lector; y el tubo *t* comunica con el *ab* por la parte anterior.

Los tubos *ab* y *a' b'*, *bc* y *b' c'*, *c d* y *c' d'*, deben ser extrictamente del diámetro mínimum, á fin de que estos espacios perjudiciales no perturben sensiblemente los resultados teóricos.

## V.

### MODO DE FUNCIONAR.

En cuanto empiecen estos foros á girar, segun marcan las flechas, el aire (que está á $2^{at}$ en la parte anterior del primer helicoidal, no del foro simple), levantará las 2 semi-espirales de mercurio (intermediadas por otra de agua), que se hallan hácia la parte posterior de ese primer helicoidal más allá del plano del papel. Este aire (que se halla á $2^{at}$), no podrá ponerlas en su máximo desnivel, porque las dos semi-espirales tienen por el lado de allá al aire existente en la parte superior del foro simple á la tension de $1^{at}$ (al empezar). Es decir que, al iniciarse el período condensante, el aire de la parte anterior del primer helicoidal, tiene fuerza de $2^{at}$, y las 2 semi-espirales hidrargíricas, si estuvieran en su máximo desnivel, resistirian con la fuerza de 3.

Pero sigue la rotacion indicada por las flechas, y cada vez va aumentando la potencia de esas 2 semi-espirales hidrargíricas, porque el foro simple va introduciendo el aire en la parte posterior del primer helicoidal por medio del tubo $t'$ (al lado de allá del plano del papel), hasta que al fin de la condensacion tienen las 2 semi-espirales la fuerza de 4 atmósferas, á saber: 2 correspondientes á su máximo desnivel de mercurio (ahora veremos por qué están en su máximum), y otras $2^{at}$ correspondientes á la tension del aire, que antes existia en el foro simple, y que actualmente se halla ya todo él reducido á la mitad de volúmen en el primer helicoidal por la parte posterior abandonada ahora por el mercurio, el cual se ha venido hácia nosotros con la rotacion sinistrorsum de ese primer helicoidal.

Mientras tanto, ¿qué ha ocurrido con el aire á $2^{at}$ existente al principio en la parte anterior del mismo primer helicoidal, no del foro simple?

Como las 2 semi-espirales hidrargíricas se han venido acercando hácia nosotros, y simultáneamente se han ido alejando las 4 del segundo helicoidal (cuya cabida es $= \frac{1}{2}$ de la capacidad del 1.°, ó sea $\frac{1}{4}$ de la capacidad del foro simple ó primario), de aquí que el aire á $2^{at}$ se habrá ido poco á poco condensando diferencialmente (ó, mejor dicho, de un modo diferencial) hasta quedar al fin todo él alejado á $4^{at}$ en la parte anterior del helicoidal segundo.

Por consiguiente, las 2 semi-espirales hidrargíricas del primer helicoidal, se habrán ido desequilibrando hasta llegar á su máximo desnivel (como hace poco habíamos anunciado).

Entendido lo dicho de estos foros, la doctrina es aplicable á todos los demás.

Y, con rotaciones inversas, el modo de funcionar será el mismo, solo que *á contrario sensu.*

VI.

Claro es que estas condensaciones son DOBLEMENTE diferenciales.

1.° Mientras una série de columnas hidrargíricas se nos acerca, la siguiente se nos desvía (y vice-versa); y, como las capacidades son desiguales, la condensacion que la série de columnas de mayor profundidad efectúa, se deshace en parte por la série de profundidad menor.

2.° Y, simultáneamente, á medida que se aproximan al líquido los tabiques ó las superficies compresoras, el líquido huye y se deprime (como hemos visto que pasaba en todo foro simple).

VII.

El peso de mercurio es el mismo en cada foro: las 2 semi-espirales del primer helicoidal, suman por construccion la misma masa que el mercurio del foro simple; y lo propio acontecerá con las 4 semi-espirales del 2.° helicoidal, las 8 del 3.° (si lo hay).....

En conjunto, este método es, pues, LOGARÍTMICO COMO EL DE LOS ÉMBOLOS CONJUGADOS GEOMÉTRICAMENTE DEL SISTEMA DIFERENCIAL.

El último esfuerzo, ó máximo, para tension de $2^{at}$ requiere potencia como 1.
de $4^{at}$ requiere potencia como 2,
de $8^{at}$ requiere potencia como 3,
etc.

Y, como el sistema es, en realidad, doblemente diferencial, resulta considerablemente prolongado con estos émbolos líquidos el elemento TIEMPO, y mas eficazmente combatida la ley de Gay-Lussac que con el sistema de los émbolos sólidos y conjugados geométricamente, cuyas leyes quedaron estudiadas en el cap. II, lib. I de esta parte II. Queda pues, convertido, y con ventaja, el sistema de émbolos conjugados en sistema de foros conjugados. La ley logarítmica propia de la compresion policilíndrica conjugada, aparece de nuevo, y con mejora.

VIII.

El almacenaje merece especial mencion, y en esto difiere este sistema del cilíndrico diferencial.

Cuando el 2.° foro helicoidal (que es el 3.° de los aparatos conjugados) ha concluido su rotacion, deja á $8^{at}$ el aire en el $3^{er}$ helicoidal (que es el último).

Iníciase acto contínuo la rotacion en sentido contrario, y naturalmente este gas, á la tension de $8^{at}$, pone inmediatamente en su máximo desnivel las 4 semi-espirales hidrargíricas del foro almacenador (el último de todos).

Y la razon es muy sencilla: la potencia de estas 4 espirales es solo de

otras 8 atmósferas, á saber: 4 por efecto de cada desnivel, que es igual á $0^{m},76$, y otras 4 más por efecto de la tension que ya tiene el aire al otro lado de las 4 semi-espirales del foro almacenador.

Ahora bien: la resistencia del aire á $8^{at}$ para ir almacenándose, es, al principiar, estrictamente vencida por la presion antagonista; pero, á medida que adelanta el período del almacenaje, va aumentando, diferencialmente, la tension del aire que el 2.° helicoidal introduce en el 3.°; y, á tanto llega este aumento, que, al finalizar la rotacion, las 4 semi-espirales hidrargíricas del foro almacenador, se encuentran entre presiones iguales de $8^{at}$, lo mismo por la parte del almacen que por la parte del 2.° helicoidal (que es el foro 3.°).

Y de aquí resulta una particularidad.

El almacenaje, que empieza con el máximo desnivel de las 4 semi-espirales de mercurio, termina sin desnivel ninguno de estas semi-espirales: lo cual quiere decir que el desnivel máximo empieza favoreciendo la potencia con fuerza = 1 (1), y termina favoreciéndola con cero.

La prudencia exije que el foro helicoidal que haya de efectuar el almacenaje, tenga alguna semi-espiral hidrargírica más de las extrictamente necesarias; pues, á la menor anormalidad en la marcha del almacenaje, dislocaria necesariamente el aire comprimido las múltiples columnas de mercurio y agua.

Esta precaucion es tanto más de adoptar, cuanto que la POTENCIA NO SERÍA GRAVADA POR SEMEJANTE ADICION de semi-espiras prudenciales, toda vez que la fuerza capaz de llevar á su máximo desnivel las 4 semi-espirales de nuestro ejemplo, no levantaria á tanta altura 2 espirales ó 3 más, sino á la suficiente para el almacenaje que, siendo una resistencia constante, exigiria siempre la misma energía en la potencia.

## IX.

Este método doblemente diferencial de émbolos líquidos, para llevar la condensacion del aire á gran número de atmósferas, exije:

1.° El máximo esfuerzo al fin de cada rotacion en un sentido.

2.° Esfuerzos progresivamente crecientes, como pasa con los émbolos sólidos del sistema policilíndrico diferencial.

Pero hay que llevar en cuenta lo acabado de decir respecto del almacenaje para el cálculo del conjunto.

Los conocimientos que ya debo suponer en el lector, me dispensan de entrar en la demostracion. Además, intuitivamente se vé que debe ser así.

No hay inconveniente en que estos foros tengan sus profundidades en razon radical, $\sqrt{2}$, $\sqrt[3]{2}$ . . . . .

---

(1) Porque el máximo desnivel de las 4 semi-espirales, es igual al máximo desnivel del foro simple, cuya intensidad dinámica podemos considerar igual á 1.

El foro primario, en vez de ser simple, puede tambien ser helicoidal.

En este caso, solo hay que tener en cuenta que el número de espirales libres ó no ocupadas (por el mercurio y el agua intermedia entre 2 semi-espirales hidrargíricas) sea igual en todos los foros helicoidales sucesivos: es decir, en todos ellos ha de haber igual número de espirales para el aire.

Por lo demás,

á profundidades : : 1 : $\frac{1}{2}$ : $\frac{1}{4}$ : .....

deben corresponder semi-anillos HIDRARGÍRICOS en número de : : 1 : 2 : 4 : 8 :... á los que, por supuesto, siempre habrá que agregar un mismo número de circunvoluciones para que estén ocupadas por el aire á condensar. Asi, suponiendo helicoidal el foro primario, y que haya en él 10 circunvoluciones destinadas al aire, el foro helicoidal siguiente de semi-anillos hidrargiro-hidráulicos habrá de tener 12; el inmediato 14; el contiguo á este 18..... etc.

## X.

Empleando apropiados engranajes, ó adoptando organismos de otro género que uniformen la resistencia, este sistema, doblemente diferencial, es susceptible de económica utilizacion:

1.° Porque con él pueden quedar reducidas á un mínimum insignificante las masas de mercurio, si se hace uso de las semi-espirales de plomo forradas en hierro (explicadas á la pág. 477), aun cuando se agreguen, por prudencia, algunas mas de lo que exige el rigor teórico (conforme se acaba de aconsejar al final del anterior artículo VIII).

2.° Porque, siendo helicoidales todos los foros, y muy delgados, una pequeña potencia puede convertir el tiempo en tensiones muy considerables.

3.° Porque los efectos de la ley de GAY-LUSSAC deben ser insignificantes con tubos helicoidales de muchas circunvoluciones.

## XI.

Los émbolos líquidos, conjugados logarítmicamente, pueden, pues, realizar un sistema diferencial, mejor aún que los émbolos sólidos.

Lo cual quiere decir que hay:

1.° Mejor reparto de las resistencias finales, ó sea mayor igualdad entre los esfuerzos del fin y los del principio;

2.° Menor acumulacion de calor;

3.° Ménos resistencias pasivas dentro de los aparatos, por ser nulos los rozamientos de los émbolos líquidos;

4.° No necesidad de aparatos de precision, esto es, de superficies torneadas con esmero, etc.

Una especie de plano, más suavemente inclinado que para los émbolos conjugados diferencialmente, es la representacion gráfica de este nuevo método de

compresion. Y tiene que ser más suavemente inclinado, porque este método es doblemente diferencial.

Semejante sistema de foros, cuya profundidad decrezca en razon inversa de las densidades del aire comprimido, al mismo tiempo que crezca el número de las columnas múltiples de mercurio, intermediadas de agua, puede dar lugar á un sistema mixto, análogo al descrito pág. 405. Allí el sistema era mixto de diferencial y monocilíndrico. Aquí, como todos los foros comprimen el aire diferencialmente, el sistema mixto lo es de

doblemente diferencial,

y sencillamente diferencial.

La *figura* siguiente 353 lo evidencia.

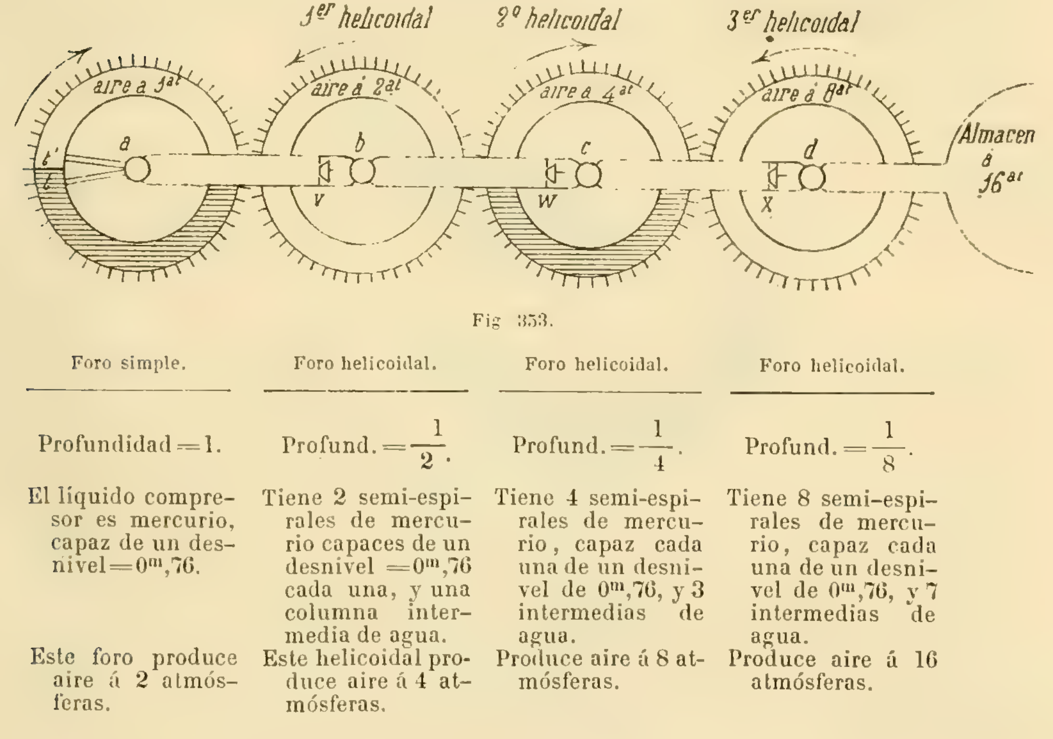



Fig 353.

| Foro simple. | Foro helicoidal. | Foro helicoidal. | Foro helicoidal. |
|---|---|---|---|
| Profundidad = 1. | Profund. = $\frac{1}{2}$. | Profund. = $\frac{1}{4}$. | Profund. = $\frac{1}{8}$. |
| El líquido compresor es mercurio, capaz de un desnivel = $0^{m},76$. | Tiene 2 semi-espirales de mercurio capaces de un desnivel = $0^{m},76$ cada una, y una columna intermedia de agua. | Tiene 4 semi-espirales de mercurio, capaz cada una de un desnivel de $0^{m},76$, y 3 intermedias de agua. | Tiene 8 semi-espirales de mercurio, capaz cada una de un desnivel de $0^{m},76$, y 7 intermedias de agua. |
| Este foro produce aire á 2 atmósferas. | Este helicoidal produce aire á 4 atmósferas. | Produce aire á 8 atmósferas. | Produce aire á 16 atmósferas. |

En vez de solo mercurio, pueden existir las semi-espirales de plomo forrado de hierro, etc.

El almacenaje tiene aquí, como allí (pág. 405), que ser intermitente.

Al terminar su rotacion en un sentido el 2.º foro helicoidal (3.º del sistema) deja el aire á $8^{atm}$ en el 3.er helicoidal (4.º de la série). Iniciada en el acto la rotacion en sentido contrario, el foro último empieza á percondensar su aire de $8^{atm}$, y así continúa hasta que el gas queda reducido á la mitad de volúmen, ó sea á $16^{atm}$. Entonces, precisamente, empieza el almacenaje á esa tension, como sucede en el sistema monocilíndrico, y el aire percondensado á $16^{atm}$ empieza á entrar en el almacen, donde sigue alojándose hasta que la rotacion en aquel sentido concluye, etc.

## XII.

El aparato de la pág. 538 de este capítulo me dejaba qué desear:

1.° Tiene bastantes espacios perjudiciales por causa de los tubos *a b*, *b c*....;

2.° Necesita ruedas dentadas;

3.° Requiere soportes para cada foro;

4.° Ocupa no despreciable espacio.

Podrá suceder que, ante otras consideraciones, estas desventajas desaparezcan y queden compensadas; pero debemos ver de remediarlas, si es posible.

Y, en efecto, lo es.

Si tenemos dos foros helicoidales, uno *dextrorsum* y otro *sinistrorsum*, y de tales dimensiones, que uno quepa dentro del otro;

Hélice dextrorsum girando dextrorsum.

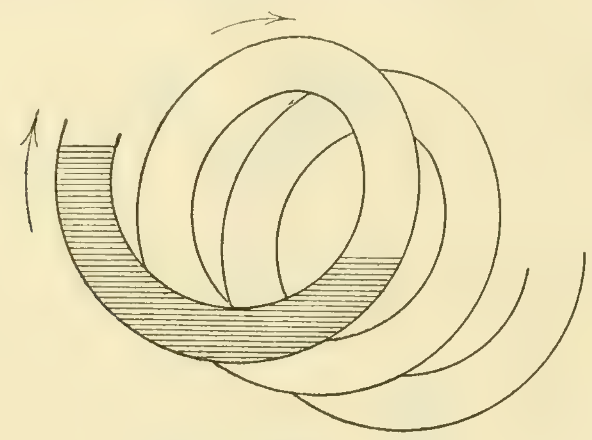


Fig. 354.

Hélice sinistrorsnm girando dextrorsum.

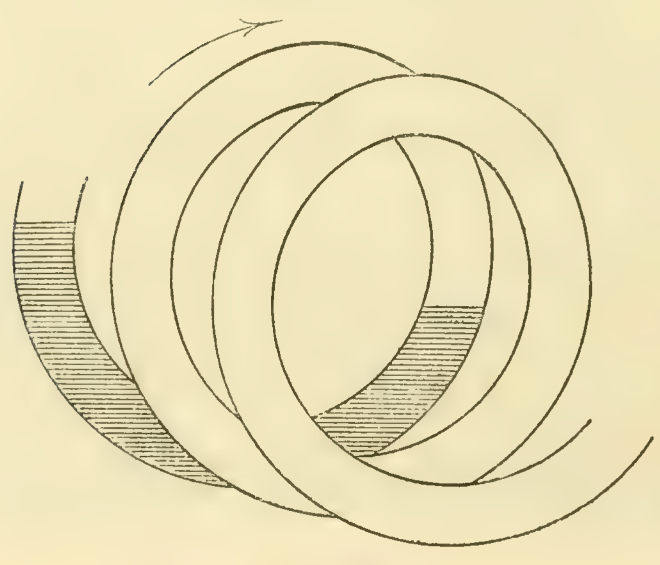


Fig. 355.

Y si damos á ambos la misma rotacion, *dextrorsum*, por ejemplo, el líquido compresor huirá de nosotros en el uno, y se nos acercará en el otro; y, conforme á lo que ya sabemos, huirá cuando foro y rotacion sean homónimos, y se acercará cuando foro y rotacion sean heterónimos.

Supongamos ahora que el foro menor esté albergado dentro del mayor (para lo cual hay que admitir que las dimensiones lo permitan).

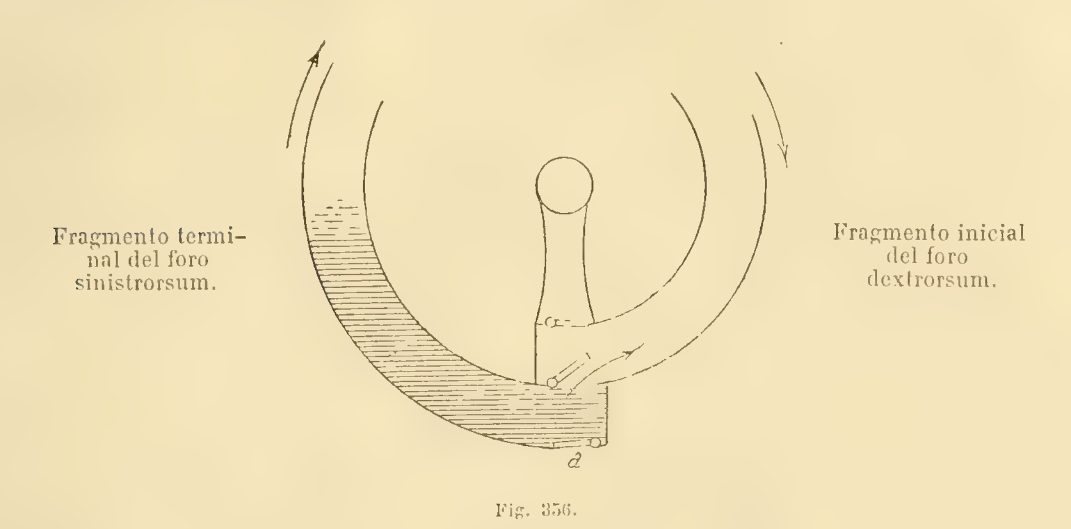



Fig. 356.

Supongamos, además, que ambos foros estén rígidamente unidos, y que puedan ponerse en comunicacion, segun marca la *figura* 356 (lo mismo por la parte anterior del plano del papel que por la posterior).

Supongamos que la rotacion del sistema sea *dextrorsum*, y tendremos:

1.° El mercurio del foro mayor (que es el *sinistrorsum*) se habrá venido hácia nosotros, y el mercurio del foro menor (que es el *dextrorsum*) se habrá desviado.

2.° El aire existente en el foro mayor entre el mercurio y la parte de acá, habrá pasado á ocupar el vacío que dejó la huida del mercurio en el foro menor.

3.° Y este aire, en general, se habrá comprimido, toda vez que la capacidad del foro interior sea menor que la capacidad del foro mayor, y se habrá comprimido, segun una razon dada, cuando las capacidades de los foros sean entre sí segun esa razon.

4.° Mientras esto ocurre en la parte anterior, por la posterior se verifica la alimentacion de aire nuevo hácia el foro mayor, ó sea el *sinistrorsum*, y el almacenaje en el foro menor, al avanzar hácia el otro extremo del eje el mercurio de este foro menor, ó sea el *dextrorsum*.

5.° Claro es que la alimentacion exige órganos especiales: el foro mayor se alimenta de aire atmosférico, por medio de una válvula *a'*, situada en el extremo posterior del foro, más allá del plano del papel, y corresponde con la válvula *a*, marcada en la *figura* 356 inferiormente hácia el extremo anterior.

Los mismos fenómenos, pero *à contrario sensu*, se verificarán con la rotacion *sinistrorsum* del sistema.

Un solo eje basta; no hay engranajes; los espacios perjudiciales han desaparecido; el lugar que el aparato exige es la mitad del que necesitarian los dos foros; no se requieren múltiples soportes, etc.

Por este método el aparato de la pág. 538 sería sustituido por el que indica la *figura* 357.

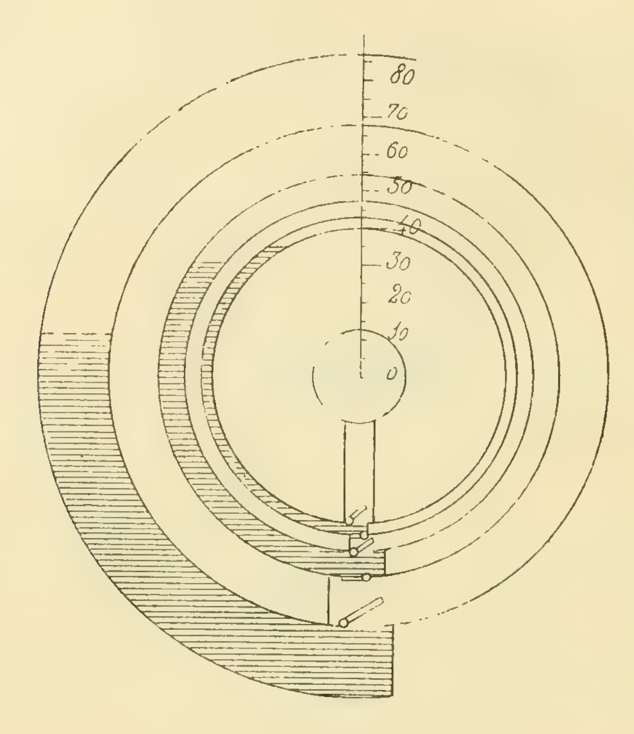



Fig. 357.

Aun á riesgo de prolijidad, he de manifestar:

1.° Que el foro mayor es *sinistrorsum;*
el 2.°, *dextrorsum;*
el 3.°, *sinistrorsum;*
el 4.°, *dextrorsum.....*

2.° Que si el foro mayor tiene una columna de mercurio igual á $1^{atm}$, segun marca la *figura* 357, el foro siguiente tiene dos columnas de igual altura, cada una $=1^{at}$, intermediadas por otra de agua; el foro 3.° cuatro columnas de mercurio iguales tambien á $1^{at}$ y tres intermedias de agua; y el foro menor otras cuatro de mercurio y otras tres de agua (1).

(1) Solamente tratándose de construir un sistema mixto, tendria el foro menor ocho semi-espirales de mercurio intermediadas por siete de agua.

3.° Que los espacios sin mercurio ni agua han de ser

$$\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{8} \cdot \ldots$$

respectivamente en los foros

2.°, 3.°, 4.°.....

siempre que consideremos = 1 la capacidad destinada al aire comprimible en el foro primario, es decir, en el mayor (así este foro sea simple ó foro helicoidal).

4.° Que en todos los aparatos el número, no la capacidad de las semi-espiras destinadas al aire, ha de ser igual.

5.° Que la teoría de este sistema es la misma que la del aparato de la página 538, es decir, doblemente diferencial.

6.° Que el almacenaje se verifica aquí lo mismo que allí, y que deben adoptarse iguales precauciones, etc.

## XIII.

Este sistema doblemente diferencial me parece digno de más ámplios pormenores, en que, sin embargo, no juzgo oportuno entrar, porque se resentirian de un carácter demasiado técnico, incompatible con el objeto de esta obra.

Las combinaciones pueden ser muchas, y cada una entrañaria una monografía especial; pero con lo dicho creo que basta para ver:

Que con émbolos líquidos puede hacerse más y mejor que con émbolos sólidos, cuando grandes velocidades no perturben á los líquidos con movimientos parásitos;

Que con émbolos líquidos puede obtenerse un sistema perfectamente diferencial, y aun mejor que el de los émbolos sólidos logarítmicos, por ser de esencia doblemente diferencial;

Que es práctico el uso de semi-espirales hidrargíricas intermediadas de hidráulicas;

Que el mercurio puede reducirse á un mínimum insignificante por medio de semi-espirales de plomo forradas de hierro, lo que entraña gran baratura;

Que los aparatos pueden ser poco voluminosos y de grandísima eficacia;

Que, de un modo enteramente nuevo, lo que se pierde en tiempo se gana en potencia;

Que la ley de Gay-Lussac quedará casi anulada por la sola disciplina del procedimiento condensador;

Que las resistencias pasivas del sistema policilíndrico son aquí casi nulas;

Que no hay necesidad de los aparatos de esmeradísima precision exigidos por los compresores cilíndricos de todas clases y de todos tipos imaginados hasta ahora.

Sin embargo, la prudencia científica exige preguntar: ¿cuál será el valor práctico de este nuevo método doblemente diferencial?

*Experiment only can conduct to certainty:* A la certidumbre solo llega la experiencia (1).

---

(1) Cuando aparatos grandes hayan de caminar lentamente, siempre considero los sistemas de émbolos líquidos como superiores á los sistemas de émbolos sólidos, lo cual no quiere decir que no sean susceptibles de muchas, y acaso muy grandes aplicaciones, los sistemas policilíndricos diferenciales. Pero ahora verá el lector claramente que, si yo no hubiese empezado la exposicion del sistema logarítmico aplicándolo á los aparatos de cilindros, me habria encontrado ahora, además de las dificultades propias y exclusivas de la teoría logarítmica, con la enorme complicacion que en ella introduce este nuevo sistema, por su preciosa ventaja de ser doblemente diferencial.

Sírvase repasar el lector las consideraciones espuestas á las pág. 309 y siguientes, enteramente aplicables al sistema doblemente diferencial, objeto de este capítulo, y además, sírvase recordar la teoría cuya exposicion empieza á la pág. 327.

Creo evidente que no podia entenderse bien la conversion de los émbolos conjugados, en foros helicoidales conjugados, sin exponer primeramente los sistemas policilíndricos diferenciales.

# CAPITULO VI.

## LOS FOROS CELULARES.

### I.

Construyamos un foro, segun indica la *figura* siguiente (358), dividido en las seis celdas, secciones ó compartimientos

$$M, N, O, P, Q \text{ y } R;$$

de modo que las celdas circunscriban una galería anular cilíndrica *g g g*....

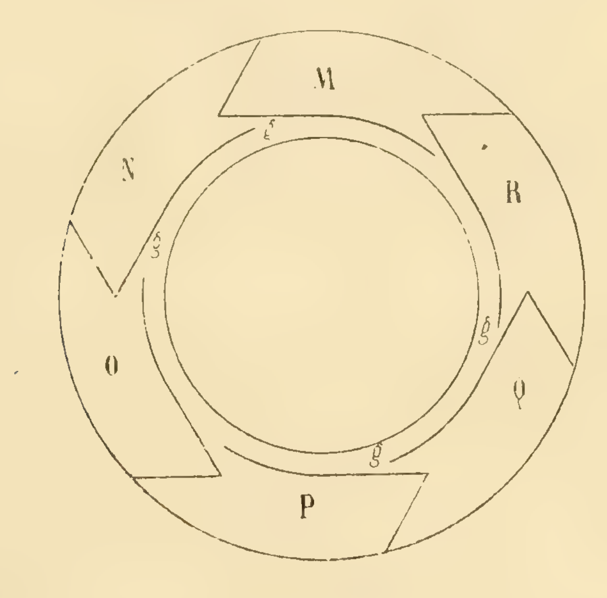



Fig. 358.

Servirá de eje á este foro un cilindro hueco, dividido, normalmente á su eje, en dos departamentos ó recipientes *A* y *B*, sin comunicacion ninguna entre sí, á causa de un tabique circular intermedio.

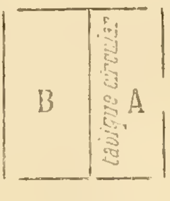



Fig. 359.

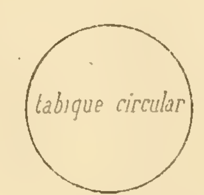



Fig. 360.

De este cilindro-eje salen, á modo de rayos de una rueda, los tubos que representa la *figura* siguiente (361).

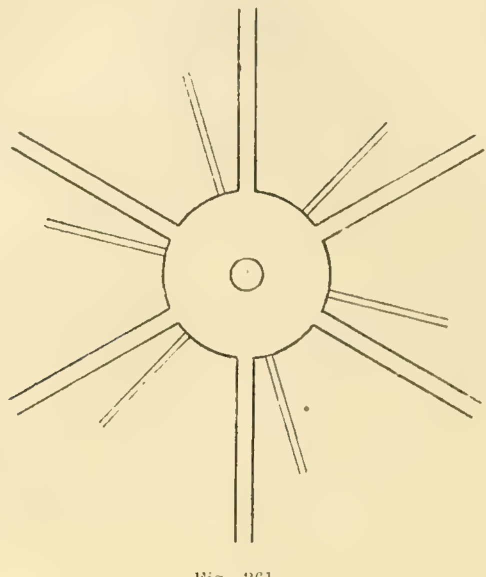


Fig. 361.

Pero los tubos más largos y anchos parten del departamento $A$, y los más cortos y delgados salen del departamento $B$, como evidencia la *fig*. 362 para 4 solo de los 12 tubos (el lector imaginará análogamente los restantes).

Estos tubos tienen en sus extremos válvulas que se abren segun representan las flechas, y se cierran en virtud de corrientes en direccion contraria.

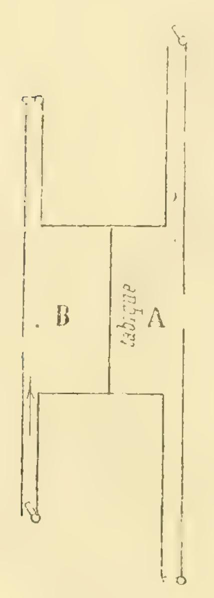



Fig. 362.

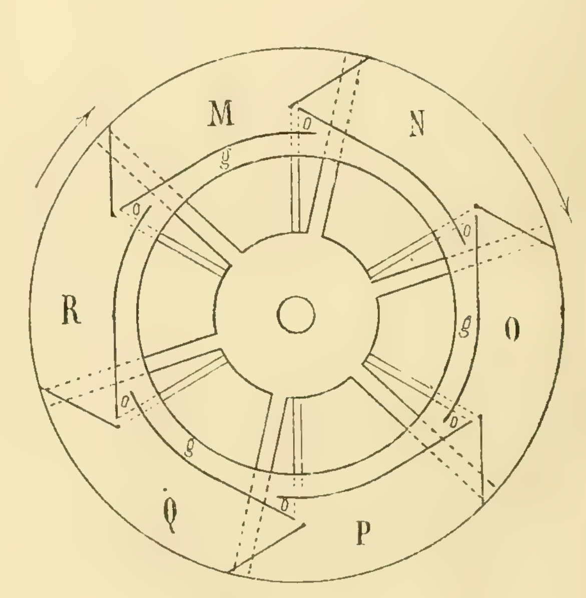



Fig. 363.

El conjunto de todas las piezas descritas ocupará las posiciones representadas en la *figura* 363, donde los tubos todos atraviesan la galería sin comunicar con ella en modo alguno.

Si se vierte en el foro un líquido compresor, éste ocupará las posiciones representadas por las rayas horizontales.

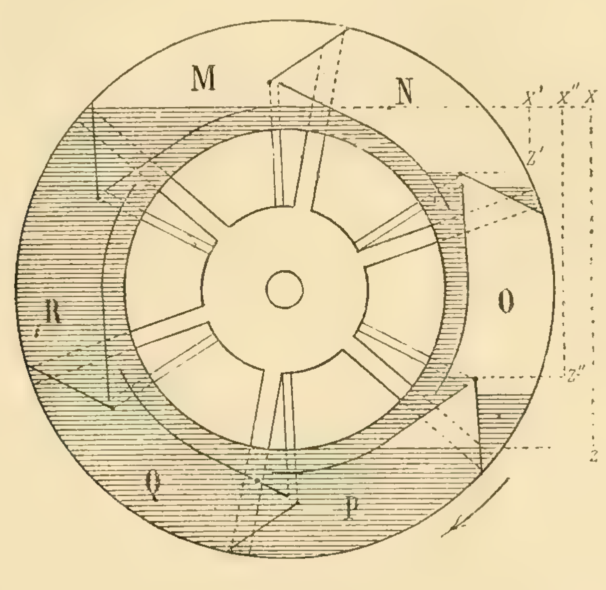



Fig. 364

II.

Admitamos como condicion esencial que el aire de alimentacion entra por el departamento *A* (*fig.* 362), situado en la parte de acá del plano del papel, y que el aire comprimido pasa al departamento *B*, situado en la parte de allá.

Y tendremos, si la rotacion es dextrorsum:

1.° Los compresores *R* y *Q* estarán completamente llenos del líquido compresor, y sin aire por tanto.

2.° El compresor *M* se hallará con aire, hasta donde lo permita la máxima altura del líquido.

3.° En *N* no habrá más líquido que el que permita entrar la presion de la columna $x' z'$, combinada con la impenetrabilidad del aire (ya algo condensado por la masa líquida que ha logrado introducirse en el mismo compresor *N*).

4.° En el compresor *O* habrá líquido en mayor cantidad que en *N*, porque la columna líquida compresora es ya igual á $x'' z'' > x' z'$ (ó, lo que es lo mismo, el aire ocupará en *O* menor espacio que en *N*).

5.° En el compresor *P* no habrá más espacio ocupado por el aire que el que permita la presion final de la altura máxima $x z$.

6.° El líquido, durante la rotacion del foro, circulará libremente por la galería *g g g*.....

7.° Ese líquido entrará en cada compresor por los espacios rectangulares *o*, *o*, *o*, *o*..... (*fig.* 363); y habrá salido de ellos por los mismos cuando cada celda ocupe la posicion de la *M*.

8.° No bien en cada compresor se inicie la posicion y período de rotacion en que aparece *M* (*fig.* 364), el aire de alimentacion entrará en él por el tubo ancho y largo desde el departamento *A* descrito en la *figura* 362.

9.° Y cuando cada compresor se encuentre en la posicion y período de rotacion que representa *P* (*fig.* 363 *y* 364), pasará el aire, comprimido á su máxima densidad, al departamento *B* (*fig.* 362), por el tubo estrecho y corto.

10. Como, en virtud de la rotacion del foro, va saliendo de *M* el líquido compresor, y esparciéndose en la galería, á través del correspondiente espacio rectangular *o*, se hará en *M* un vacío ó succion bastante poderosa para abrir la válvula de su tubo ancho y largo, y por ella entrará el aire de alimentacion.

11. La válvula correspondiente al TUBO LARGO del compresor *R* estará próxima á abrirse, porque en *R* se inicia el vacío ó la succion.

12. Las válvulas de los demás tubos largos estarán cerradas, porque en cada uno de sus compresores es superior la densidad del aire interior á la del aire de alimentacion.

13. La válvula correspondiente al TUBO CORTO del compresor *P* estará abierta, y por ella irá pasando al departamento *B* (al otro lado del plano del papel) el aire que en *P* ha llegado ya á su máxima densidad; teniendo fuerza, por consiguiente, para abrirla.

14. Las demás válvulas de los TUBOS CORTOS habrán de estar cerradas, porque la presion del aire en el departamento *B* es superior á la existente en cada uno de los compresores, exceptuando únicamente al que, como el *P*, se encuentre bajo la accion de la mayor columna compresora *x z*, esto es, del máximo desnivel de las superficies libres del líquido compresor.

15. El departamento *B* hace veces de almacen provisional; pero sujeto á la condicion de que en él NUNCA la presion ha de exceder de la del máximo desnivel *x z*, pues antes de llegar á una mayor condensacion, ha de salir la masa de aire que pudiera infringir esta INEXCUSABLE CONDICION (1).

---

(1) Más adelante veremos que es posible prescindir de toda clase de válvulas cuando se trate de comprimir gases. Pero, como cuando los foros se utilicen como aero-motores para mover maquinarias de toda clase, no hallo posible excusar el empleo de algunas válvulas, y como, además, podria dificultarse ahora el cálculo de los volúmenes celulares, si yo trajese aquí la complicacion de espacios consiguiente al uso de los conductos llamados BRANQUIAS en el cap. IX, seguiré la exposicion, suponiendo constantemente la existencia de las válvulas, aunque PARA NADA se necesitan en la compresion por foros celulares.

III.

Estos foros seccionados son susceptibles de multitud de variantes. Véase la siguiente de mayor sencillez que la anterior.

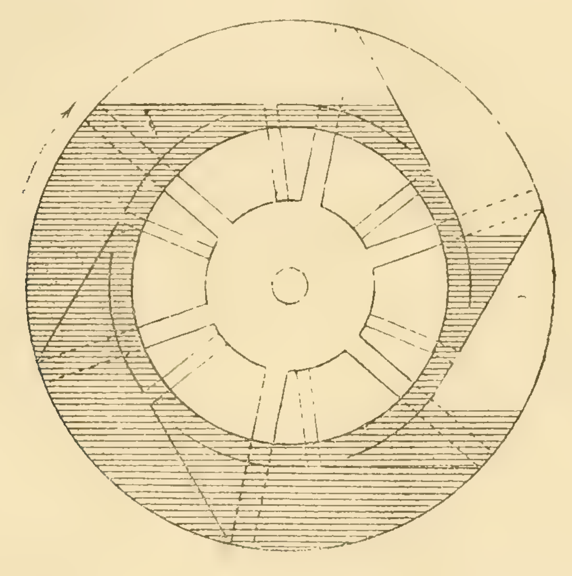


Fig. 365.

La siguiente forma convendria mucho para foros cuyas celdas tuviesen gran capacidad, y hubiesen de funcionar con poca diferencia de niveles. Como se ve, no habria en ellos más que celdas, galería y cilindro-eje. Muy fácilmente supondrá el lector las comunicaciones entre el eje y las celdas.

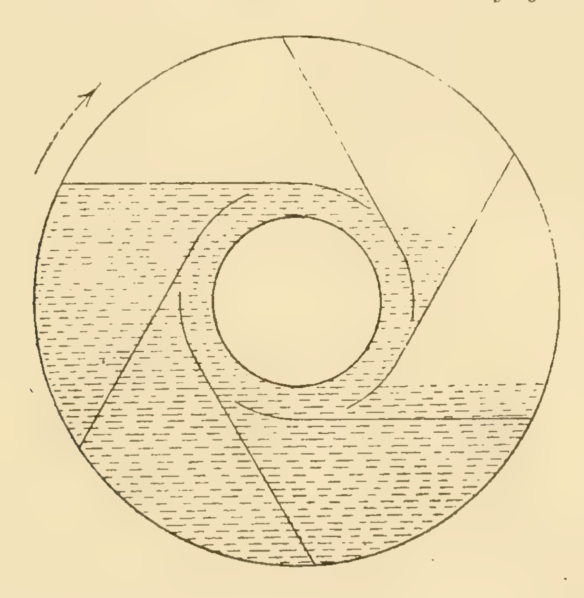


Fig. 366.

IV.

Conviene notar, aunque sea de paso, que los foros celulares resuelven el problema de un fuelle ó ventilador de movimiento circular contínuo y émbolo líquido, así hidráulico como hidrargírico, ó bien, á la vez, hidrargírico-hidráulico, etc.

El chorro de aire nunca sería intermitente, y su intensidad resultaria casi constante sin necesidad de gasómetro regulador. Y sería de chorro sensiblemente constante si el aparato estuviese compuesto de dos foros celulares, las proyecciones de cuyas celdas resultasen cruzadas en su plano vertical.

La *figura* 367 indica dos foros celulares: uno hácia la parte anterior del papel é indicado por las líneas plenas; y otro hácia la parte posterior más allá del plano del papel, representado por las líneas de puntos.

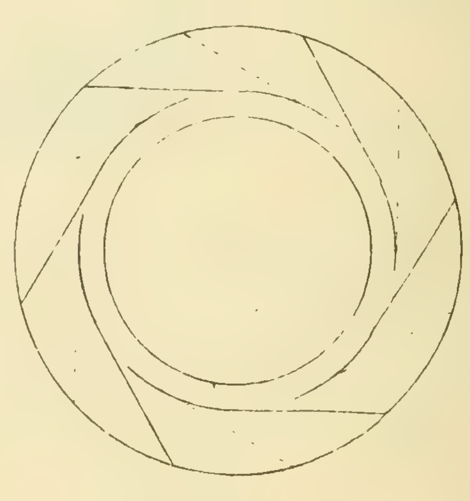


Fig. 367.

Tambien los foros celulares de émbolo hidrargírico podrian funcionar como bomba aspirante é impelente de movimiento circular contínuo, si el correspondiente departamento *A* del cilindro-eje *(fig. 362)* comunicaba con el depósito del líquido que hubiera de aspirarse, y el otro departamento *B* comunicaba con los tubos de elevacion y distribucion del líquido impelido. Esta bomba de movimiento circular contínuo, no podría, sin embargo, ahorrar las grandes cantidades de mercurio economizables en la simple de movimiento circular intermitente, ó en las helicoidales, porque en éstas es dable utilizar los semi-anillos ó semi-espirales de plomo forradas en hierro, descritas á la página 477.

V.

Algo debo decir sobre puntos relativamente secundarios, aunque sin insistir mucho sobre ellos.

1.° Excusado parece manifestar que los foros seccionados ó celulares pueden construirse *à contrario sensu*, y que el movimiento circular contínuo

habrá de ser entonces, como indica la flecha, *sinistrorsum* (contrario al de las agujas de un reloj) *(fig.* 368*)*.

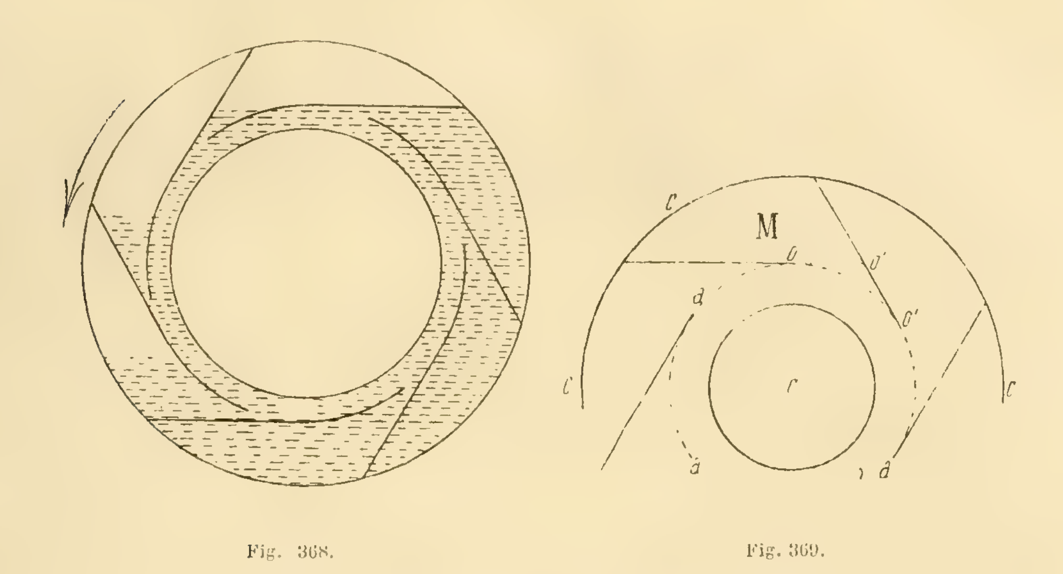



Fig. 368. Fig. 369.

2.° La cantidad de aire aspirada en cada rotacion completa de 360° por los foros celulares es siempre menor que el volúmen correspondiente al producto

$$\text{corona} \times \text{profundidad}.$$

En efecto: descontada la galería, nos queda de corona la superficie comprendida entre las curvas *c c c*..... y *a a a* (*fig.* 369).

Pero de esta corona hay que descontar una cantidad considerable. Cuando una celda ocupa la posicion *M*, entonces no puede continuar su proceso de succion, y queda, por consiguiente, sin aire el prisma triangular $o\,o'\,o''$. Esto sucede seis veces cada 360° en los foros de seis celdas; por manera que la cantidad de gas aspirada en cada rotacion completa es igual á

$$(\text{corona} \times \text{profundidad}) - (6 \times \text{prisma}).$$

Pero ¿cuál es el volúmen de estos prismas? Es el espacio comprendido entre el exágono circunscripto y el círculo de radio *c o* (1).

De donde se deduce que, si llamamos $R$ al radio externo y $\rho$ al radio del

(1) Si consideramos igual á la unidad la profundidad del foro, desaparece la incorreccion de estas expresiones, porque entonces el número de unidades cúbicas es igual al de superficiales, y no hay inconveniente en tomar las unas por las otras.

círculo mayor de la galería, será el volúmen del aire aspirado por un foro de seis celdas,

$$\pi R^2 - 3{,}4641\,\rho^2 \text{ (1)}.$$

El volúmen de aire que, por causa de esos prismas triangulares, deja de aspirar un foro celular en cada rotacion completa de 360°, disminuye muchísimo cuando se aumenta en cada foro el número de las celdas; decremento consiguiente á la conocidísima propiedad de que el área de los polígonos regulares circunscriptos en círculos de igual radio decrece rapidísimamente con el aumento de los lados.



Fig. 371. Fig. 372.

La disminucion es tan rápida, que ya es insignificante para el dodecágono y despreciable para el polígono de 24 lados. El prisma del exágono *(fig. 372)* queda reducido á exíguas dimensiones en el dodecágono *(fig. 371)*.

Exágono circunscripto — círculo = 3,4641 — 3,1416 = 0,3225;
Dodecágono circunscr. — círculo = 3,2152 — 3,1416 = 0,0736;
Polígono de 24 lados — círculo = 3,1596 — 3,1416 = 0,0180.

3.° En el momento del almacenaje, ó sea de la mayor diferencia de niveles, se encuentra en los foros simples toda la resistencia acumulada á uno de los lados, sin nada que la contrareste al otro. Evidente es que nada compensa á nuestra derecha el peso del trapezoide circular $n\,n'\,m'\,m$, que constituye

---

(1) Para el área del exágono circunscripto, pongo el cálculo siguiente, que es muy fácil:

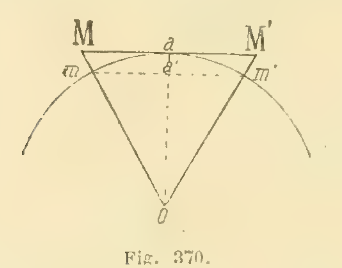



Fig. 370.

Sea 1 el radio del círculo $= om$,
1 el lado del exágono inscripto, $mm'$,

su apotema será $0a'$

$$= \sqrt{1 - 0{,}5^2} = \sqrt{0{,}75} = 0{,}866.$$

Y, por consiguiente,

$$MM' : mm' :: 0a : 0a';$$
$$MM' : 1 :: 1 : 0{,}866;$$
$$MM' = \frac{1}{0{,}866};$$

Y seis veces el triángulo $MM'0$ = área del exágono circunscrito.

$$\left(\frac{1}{0{,}866} \times \frac{1}{2}\,0a = 1\right) \times 6 = 3{,}4641.$$

por sí solo la resistencia (*fig.* 373), puesto que el líquido remanente del segmento se encuentra en equilibrio por efecto de su posicion.

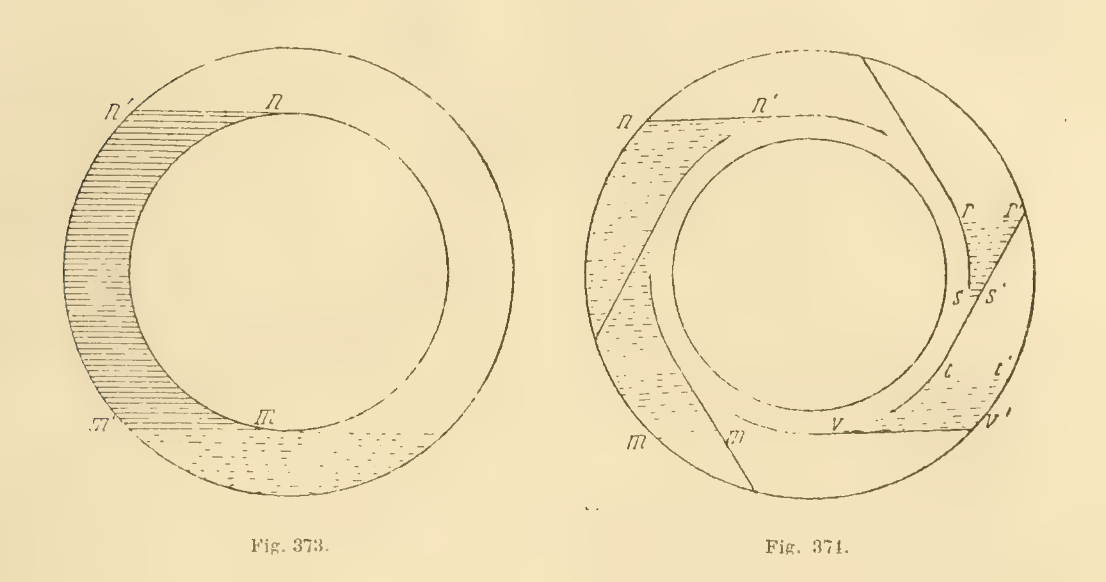



Fig. 373. Fig. 374.

Los foros celulares llevan ventaja á los simples y á los del sistema helicoidal en que, antagónicamente á la Resistencia, penetran en las celdas compresoras considerables cantidades de líquido (*fig.* 374), que constituyen un precioso auxiliar de la potencia. Y tan importante es su auxilio, que á su discusion debo consagrar capítulo especial.

En efecto: el trapezóide *n n' m' m* está en parte contrapesado por las masas líquidas *r r' s' s* y *t t' v' v* (*figura* 374).

Pero en el cómputo de estas importantes masas auxiliares no entra para nada el volúmen de los prismas triangulares comprendidos entre el exágono circunscripto y su círculo (*figura* 375).

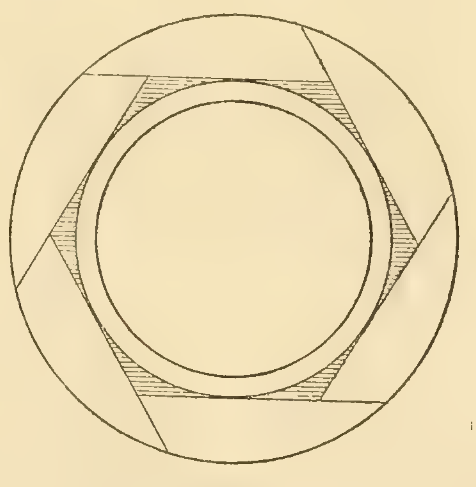


Fig. 375.

En efecto, cada uno de esos prismas triangulares se halla equilibrado por otro prisma igual, colocado simétrica y diametralmente en antagónica posicion, estando todos constante y simultáneamente llenos de líquido.

4.º A equivalencia de capacidades, el foro seccionado utilizará en la práctica el máximo desnivel teórico; desideratum irrealizable en los foros del mo-

vimiento circular alternativo. En la compresion de un gas por medio de un foro simple, el nivel superior no puede subir hasta la altura del plano horizontal tangente al cilindro interior *(fig.* 376*)*, porque, si subiera, pasarian perjudicialmente considerables masas líquidas á colocarse sobre el tabique, á poco que funcionase anormalmente el aparato.

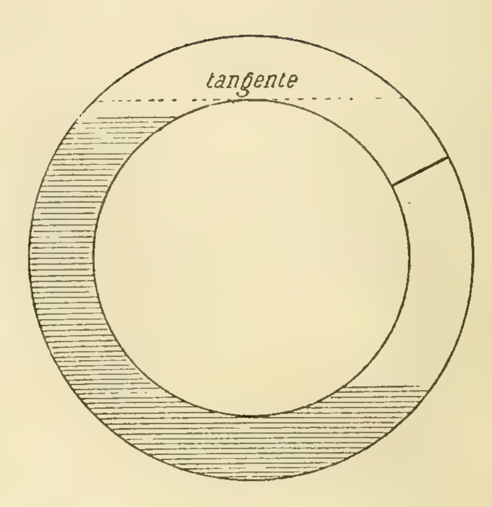


Fig 376.

5.° Los foros seccionados se hallarán provistos de flotadores, llaves de purga y demás accesorios que pueda exigir su buena marcha, etc.

En la construccion debe cuidarse de que la galería penetre un poco en los compresores. De este modo el prisma de aire *a a a* quedará, en los últimos momentos del almacenaje, más alto que el plano horizontal tangente inferior del cilindro de la galería. Sin esta precaucion, podria el aire comprimido entrar en la misma galería por el contíguo espacio rectangular *o*. (Por de contado, los tubos cortos de la *fig.* 377 van á parar al departamento que hemos convenido en llamar *B (fig.* 362*)*, y que se halla situado al otro lado del plano del papel.

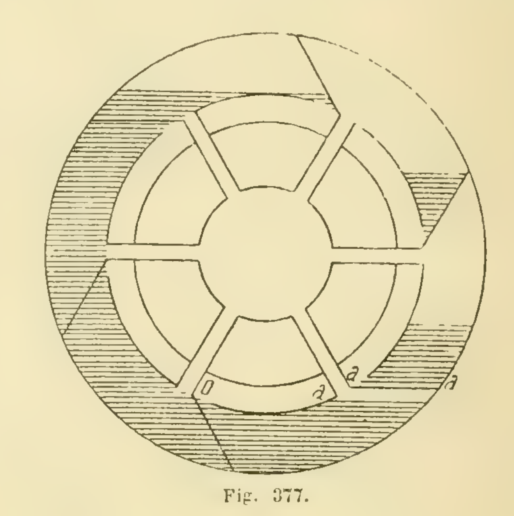


Fig. 377.

## VI.

En los foros seccionados hay 3 períodos bien distintos para cada compresor.

1.° Período de succion y alimentacion;

2.° Período de condensacion;

3.° Período de almacenaje.

Y tienen de comun, sea cual se quiera la variante de sus formas y secciones, que

1.° La alimentacion se verifica desde el eje al foro seccionado;

2.° El almacenaje se verifica desde el foro al eje;

3.° El eje está dividido en departamentos;

4.° Todos los foros celulares tienen, en lugar del movimiento circular alternativo de los helicoidales y foros simples, el movimiento circular contínuo, satisfaciendo así al gran desideratum de la cinemática;

5.° El período de la condensacion es de esfuerzos crecientes y diferencial;

6.° El período del almacenaje, á virtud de la masa líquida auxiliar, de que antes he hablado, como antagonista del trapezoide en que consiste la resistencia, se subdivide en dos duraciones especiales:

Una diferencial de esfuerzos crecientes;

Y otra, no diferencial, de esfuerzos decrecientes.

Esto, á mi entender, hace á los foros celulares el aparato compresor por excelencia.

7.° Y en todos los foros celulares, sea la que quiera la disposicion de las celdas, y sea su número el que plazca, tiene que ser, y es, la potencia exigida para el esfuerzo máximum, mucho menor que la potencia máxima reclamada por los equivalentes foros simples y helicoidales; superioridad debida al concurso, antagonista de la resistencia, procedente de la masa líquida auxiliar que, durante el proceso de la condensacion, va penetrando en las celdas compresoras, y ayudando con su peso á la potencia.

Aunque de esto trataré con especial detenimiento para apreciar lo cuantitativo del auxilio, no conviene, sin embargo, pasar adelante sin dejar especificado lo cualitativo de su accion.

## VII.

Pero si la potencia que exige un foro seccionado ó celular es menor que la necesaria á sus equivalentes simple ó helicoidal, en compensacion esa potencia no tiene momento ninguno de huelga ó inaccion. Siempre está funcionando, sujeta solo á leves undulaciones en su intensidad, constantes y periódicas. Expliquémoslas.

Supongamos que uno de los compresores (*P*, por ejemplo, *fig.* 378) ha acabado de almacenar todo el aire que contenia.

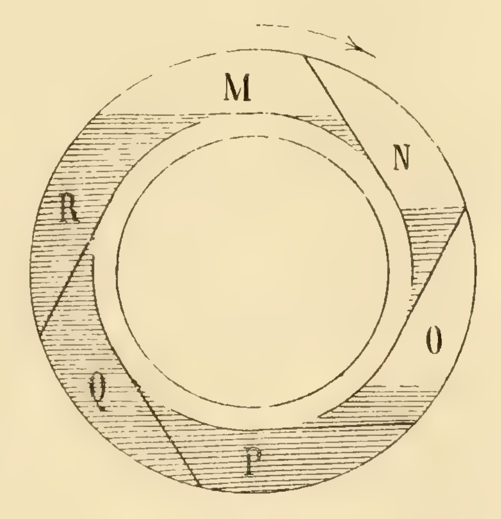


Fig. 378.

Para el cómputo, prescindamos del líquido existente en la galería, porque

siempre está en equilibrio, y la resultante de su gravedad pasa evidentemente por el eje del aparato, en cuyos soportes queda destruida.

La resistencia del foro anterior, es, por consiguiente, igual á
(Peso de los compresores *R*, *Q*, y *P*, hasta la vertical tirada desde el centro del foro)—(peso del auxilio líquido existente en *O*, *N*, y *P* hasta la misma vertical). Y esta es la posicion del mínimum de esfuerzo, por ser la del mayor auxilio hidráulico.

Desde ella hasta que el foro, continuando en su rotacion, llega á tomar la posicion que representa esta otra *figura* 379, va creciendo sin cesar la Resistencia, no porque aumente el minuendo de la fórmula anterior, sino porque ha disminuido considerablemente el sustraendo.

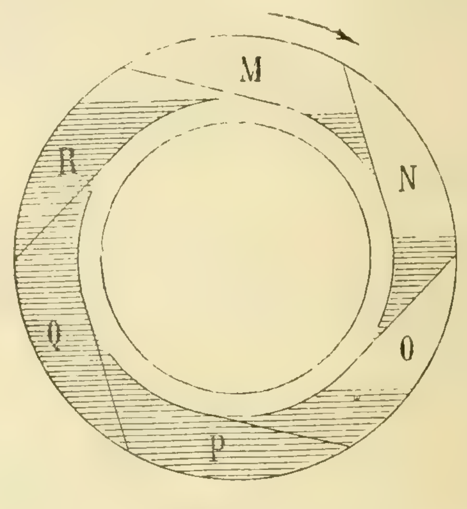


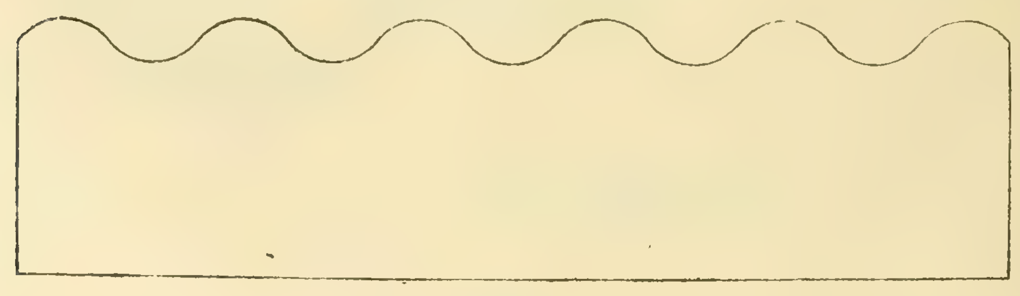
Fig. 379

En efecto, la masa líquida existente en el foro á nuestra izquierda en las celdas *R*, *Q*, y *P* es perfectamente equivalente á la de antes; pero el auxilio líquido á nuestra derecha ha menguado visiblemente. En *O* ha desaparecido por completo; pues toda el agua en él contenida pertenece al segmento neutro, y está equilibrada por su antagonista en *P* y *Q*: en *N* ha aumentado, y en *M* ha penetrado una exígua cantidad de líquido auxiliar que antes no existia; mas, como los incrementos líquidos de *N* y de *M* no compensan, ni con mucho, el decremento de *O*, de aquí el que la potencia tenga que hacer un esfuerzo mayor, no por haber crecido la Resistencia, sino por haber mermado el Auxilio.

Y esta es la posicion del máximum de esfuerzo.

Y desde ella comienza á aumentar el Auxilio líquido, permaneciendo invariable la Resistencia; por lo cual tiene que ir disminuyendo el esfuerzo de la Potencia, hasta que, colocado el compresor *O* en la situacion que antes ocupaba el *P*, vuelve á estar el foro en la posicion del mínimum.

Esto ocurre seis veces por cada rotacion completa de 360° con foros de seis secciones; de manera que las palpitaciones de su potencia pueden *grosso modo* representarse por la superficie siguiente.


Fig. 380.

Estos períodos undulatorios de la intensidad resistente duran 60° en un foro de 6 secciones: si las secciones fueran 8, 10, 12..... durarian 45°, 36°, 30°....., etc.; pero el auxilio nunca falta; solo pueden variar su duracion y su intensidad.

## VIII.

Inmensa es la ventaja obtenida de los foros celulares. Con los simples, de movimiento alternativo, teníamos que iniciar cada rotacion retrógrada con una resistencia cero, para luego ir venciendo resistencias crecientes hasta el máximum del almacenaje

$= 0,32 \times$ por la diferencia de niveles $\times$ por todo el peso del líquido compresor.

Todavía era más exagerado el cambio, tratándose de los foros helicoidales, puesto que habíamos de pasar desde cero á un máximum

$= 0,32 \times$ diferencia de niveles $\times$ número de circunvoluciones $\times$ peso del líquido de una.

Pero ahora, con los foros celulares, es casi constante la resistencia, sujeta solo á fluctuaciones, menores á medida que aumente el número de las secciones, y nulas sensiblemente con dos aparatos cuyas celdas se crucen en la proyeccion vertical; ¡ventaja inapreciable para todo motor, cuyo mortal enemigo es una Resistencia cualquiera de BRUSCOS CAMBIOS EN SU INTENSIDAD!

# CAPÍTULO VII.

## EL AUXILIO EN LOS FOROS CELULARES.

### I.

La teoría de los foros celulares está toda en el estudio de la masa líquida auxiliar.

La resistencia en todo foro seccionado puede considerarse como una CANTIDAD CONSTANTE, y próximamente igual á la de un foro simple, especialmente cuando pasa de 6 el número de las celdas.

En efecto, *abcdefgh* (*fig.* 380) difiere del trapezoide $t\,t'\,t''\,t'''$ (*fig.* 381), en

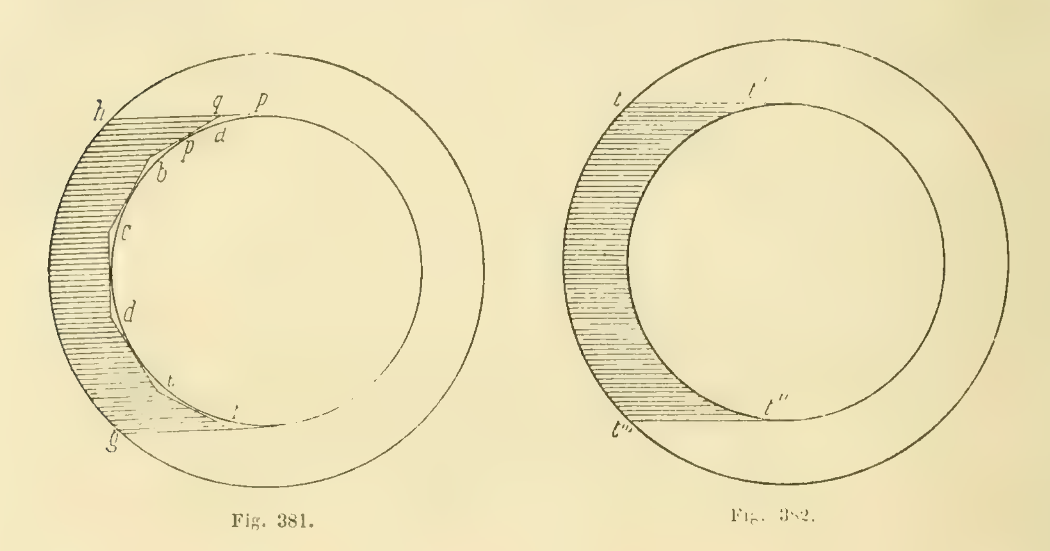



Fig. 381. Fig. 382.

el coeficiente $0{,}0736 \times \left(\frac{6}{12} = \frac{1}{2}\right.$ número de prismas $\left.pqp'a\right)$; puesto que el área del dodecágono es igual á $3{,}2152\,r^2$, y la del círculo inscrito á $3{,}1416\,r^2$.

Mientras mayor sea el número de los compartimientos, más se acerca al trapezoide $t\,t'\,t''\,t'''$ la figura celular; y, cuando tal sucede, la Resistencia es SENSIBLEMENTE constante en cualquier posicion del foro. Sin embargo, la dife-

rencia es perceptible, aunque no considerable, para un foro de 6 celdas compresoras en las posiciones del máximum y del mínimum de la masa auxiliar.

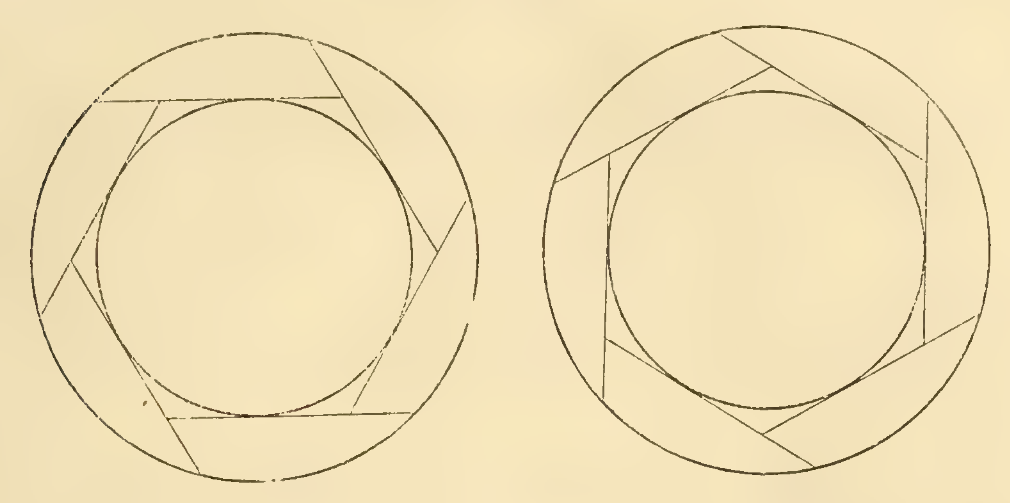


Fig. 383, del máximum de auxilio.

Fig. 384, del mínimum de auxilio.

El polígono de la resistencia (no el trapezoide) en un foro cuyos radios sean : : 50 : 70, importa 20, 26 en la posicion de la *fig.* 383, y 20, 98 en la de la *fig.* 384.

Podemos, pues, considerar como constante al POLÍGONO de la resistencia en foros de considerable número de celdas compresoras.

Pero las masas líquidas del AUXILIO de la potencia cambian entre dilatados límites, como pronto veremos. En un foro de 6 compartimientós y de las dimensiones que anteceden, el peso del auxilio pasa de 36 °/₀ en la posicion primera, y no llega al 25 °/₀ en la segunda.

## II.

No habiéndome ocurrido fórmulas fácilmente manejables para calcular la importancia de la masa auxiliar en cada uno de los momentos de la rotacion del foro, resolví recurrir á los métodos gráficos; y, sobre papel esmeradamente dividido en milímetros cuadrados, empecé á computar el volúmen del líquido introducido en las celdas compresoras durante los dos períodos de la condensacion y el almacenaje.

Pero, antes de seguir adelante, consulté el caso con mi amigo y discípulo D. PEREGRIN MESTRE Y CANALE, quien se brindó á ejecutar el trabajo.

Y, con efecto, á los pocos dias me suministró los datos de los *Estados* que más adelante se hallarán.

III.

En los foros celulares son distintos, separados y sucesivos los 3 períodos de la succion, la condensacion y el almacenaje que cada celda verifica.

El período de la succion dura en cada compartimiento

$$\frac{360^\circ}{\text{número de celdas}};$$

Siendo 6 las secciones, dura, pues, la succion de cada una 60° $\left(\frac{360}{6}\right)$,

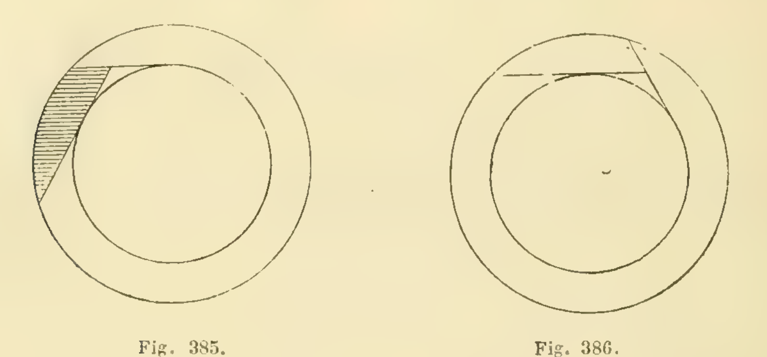


Fig. 385. Fig. 386.

ó sea en pasar de la posicion indicada en la *figura* 385 á la de la 386.

Los otros 2 períodos de condensacion y almacenaje duran, en junto, 180°, por ser la *figura* 387 (que representa el final del almacenaje), diametralmente opuesta á la 386, inicio de la condensacion.

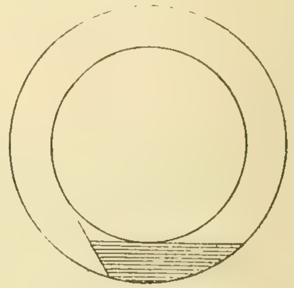


Fig. 387.

Por manera que los 3 períodos de alimentacion, condensacion y almacenaje duran en junto para cada celda en un foro de 6 compartimientos,

$$\frac{360}{6} + 180^\circ = 240^\circ;$$

Y, en general, siendo $n$ el número de las secciones,

$$\frac{360^\circ}{n} + 180^\circ.$$

El período de 180° (que es comun á toda celda compresora en esta clase de foros, cualquiera que sea el número de sus compartimientos) se subdivide en dos duraciones desiguales, de las que la mayor corresponde siempre á la condensacion.

Pero, si bien esos dos períodos son de 180° constantemente, y mayor el

tiempo de la condensacion que el del almacenaje, el período de éste se reduce más y más, á medida que crece la tension.

Para $1^{at},1$ el período del almacenaje durará un arco tal como *a b* (*fig.* 388).

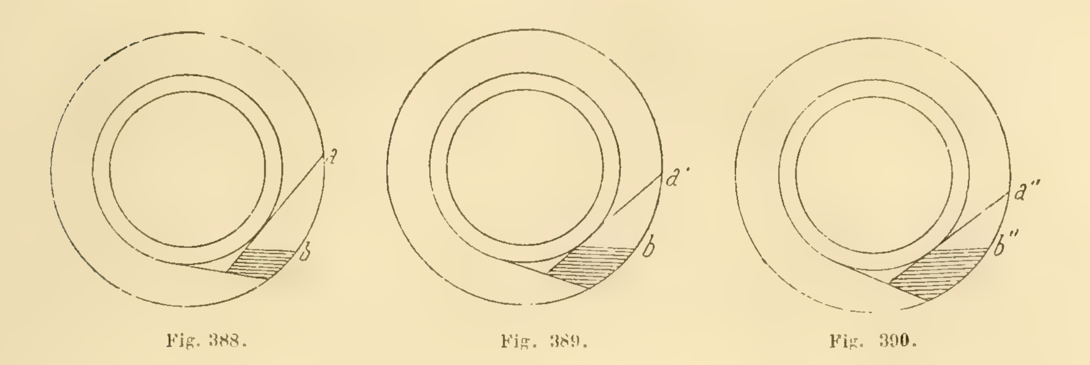



Fig. 388. Fig. 389. Fig. 390.

Pero para $2^{atm}$ será solamente como $a' b' < a b$ (*fig.* 389).

Y para $4^{atm}$ será tal como $a'' b'' < a' b' < a b$ (*fig.* 390).

En general, la duracion del almacenaje es para cada celda compresora una diferencia entre el tiempo necesario para una rotacion de 180° y el tiempo que se invierta en la condensacion. Y la condensacion, evidentemente, requerirá más tiempo para una tension alta que para una tension baja.

IV.

Obvio es que las FORMAS de los foros celulares pueden ser infinitas; pero, dependiendo de cada forma la subdivision de este período de 180°, claro es que no ha de ser fácil dar con una fórmula generalísima que satisfaga á todos los casos que puedan presentarse.

Por otro lado, es tambien de evidencia que la práctica reducirá las formas y las dimensiones posibles á solo las más fáciles ó convenientes. Pero basta que las formas puedan variar entre muy extensos límites, dando lugar á fórmulas, aun en los casos más fáciles, muy complicadas, para justificar la computacion de los volúmenes y la posicion de las masas líquidas auxiliares por medio de métodos gráficos, cuyos límites de error sea siempre posible determinar.

V.

Los métodos gráficos no aspiran á la generalidad de las fórmulas, y solo suministran resultados especiales y concretos, correspondientes á cada caso particular. Pudiera decirse que son en cinemática respecto de una integral, lo

que en la ciencia de los números son las soluciones aritméticas respecto de las algebráicas.

No hay, pues, de general en los métodos gráficos más que la marcha de la computacion; y esto, solo, es lo que importa dar á conocer.

Por consiguiente, será siempre necesario discutir algun caso particular; pero en la discusion (para aspirar á la universalidad), habrá de atenderse ménos al resultado concretamente obtenido, que á las operaciones PRACTICADAS, dado que sean éstas constantemente PRACTICABLES en cualquier otro caso particular.

Por tanto, para fijar las ideas, supondremos un foro celular capaz de un desnivel de $10^m$ de agua del mar. Puede estar dividido en un número cualquiera de celdas compresoras, y girar *dextrorsum*, ó *sinistrorsum;* pero lo imaginaremos siempre dividido en seis compartimientos, y girando como las agujas de un reloj.

Sea la profundidad = 1.

El radio exterior del foro será siempre igual á 7 metros, y el exterior de la galería igual á 5 metros.

Llamemos FORO-TIPO á este foro especial.

Con estos antecedentes, vengamos á la marcha general del procedimiento gráfico.

## VI.

Toda celda pasa desde una posicion en que está llena de aire, á otra, diametralmente opuesta, en que está llena de agua.

El líquido compresor ha ocupado, pues, dentro de la celda, todos los volúmenes posibles; y, por consiguiente, el nivel libre de este líquido interior se ha encontrado, durante la rotacion *dextrorsum* de la celda, á todas las distancias posibles de la línea del cero de presion (ó sea la horizontal tangente por arriba á la circunferencia exterior de la galería).

El líquido habrá, pues, estado en cada celda $1^m$, $2^m$, $3^m$....., hasta $10^m$ más bajo que esa línea; y las presiones habrán ido siendo sucesivamente

$$1^{atm},1;\ 1^{atm},2;\ 1^{atm},3.....;\ 2^{atm};$$

Y además, correspondientemente, todas las fracciones posibles intermedias, determinadas por las distancias crecientemente sucesivas contadas desde la misma línea del cero de presion.

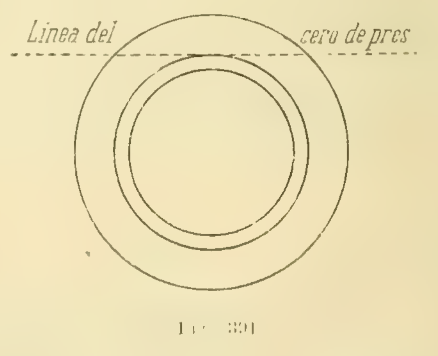


Fig. 391

## VII.

Entendido esto, tratemos de averiguar qué posicion habrá de ocupar una cualquiera de las 6 celdas compresoras (la *N*, por ejemplo) para que la capa inferior del aire, en ella comprimido, se encuentre á $5^m$ por debajo de la línea del cero de presion; ó, lo que es lo mismo, á la altura de la horizontal *o a* (*fig.* 392).

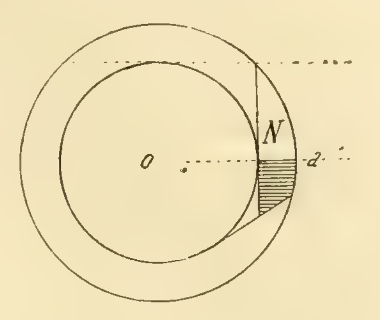


Fig. 392.

Ahora bien:

*o a* es una horizontal que pasa por el centro del aparato: luego es una línea radial.

Si, pues, antes de conocer la posicion que debe ocupar el foro para satisfacer á la condicion propuesta, dividiésemos en un gran número de partes el arco *r s* de la circunferencia exterior de la galería (*fig.* 393), y por estos puntos y el centro tirásemos muchos radios, de seguro alguna de sus prolongaciones coincidiria con el nivel del líquido en el interior de la celda, cuando ésta, en su giro, ocupase la posicion en que ese nivel interno dista precisamente $5^m$ de la línea del cero de presion.

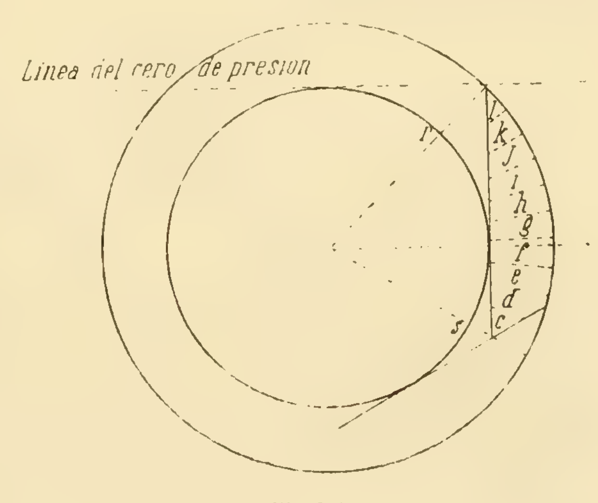


Fig. 393.

Pero ni es posible, ni NECESARIO, tirar tan exagerado número de líneas. Dividamos dicho arco en un más reducido número de partes iguales, 10, por ejemplo; y dividamos tambien en 10 porciones la celda con las prolongaciones de los respectivos radios. Sean *c*, *d*, *e*....., *l* estas porciones (*fig.* 393). El nivel interior, necesariamente coincidirá con alguna de estas líneas, ó bien ocupará una posicion intermedia; y, como sabemos por la ley de MARIOTTE que el volúmen del aire ha de quedar reducido, cuando la carga del líquido sea igual á $5^m$, á los $\frac{10}{15}$ de la total capacidad de la celda compresora, siendo de consiguiente igual á $\frac{5}{15}$ el volúmen del agua introducida en la celda, fácil nos será determinar aproximadamente la debida posicion del foro.

1.° Calculando los $\frac{5}{15}$ del volúmen de la celda, TEÓRICAMENTE Y CON TODA EXACTITUD:

2.° Determinando, POR TANTEOS, sobre papel esmeradamente cuadriculado en milímetros, qué número de las porciones $c$, $d$, $e$,...., ó bien de fracciones radiales de otra, se necesitan para igualar en milímetros cuadrados la superficie real de los $\frac{5}{13}$ teóricos de una celda;

Y 3.° Colocando al foro de modo que resulte horizontal el radio distribuidor de la celda en dos partes tales que la simbolizada por los milímetros cuadrados del aire sea igual á $\frac{10}{15}$, y la representada por el líquido compresor, igual á $\frac{5}{15}$.

A la escala de 30 milímetros por metro, el cómputo del volúmen, segun el método gráfico, ha acusado un *error medio* de 0,0011 lineales. Los ángulos y las posiciones, de que luego hablaré, se han determinado aproximadamente dentro de estos límites (que, por cierto, no serían menores, haciendo los cálculos con líneas trigonométricas de 5 decimales, por grados y minutos solamente).

Si, pues, representamos sobre papel dividido en milímetros cuadrados la celda correspondiente al foro puesto á discusion; si con gran paciencia contamos el número de milímetros cuadrados contenidos en ella, y tomamos su tercera parte á contar desde $c$, veremos que el nivel del agua debe, en la posicion pedida, dividir la porcion $f$, segun indica la *figura* 393.

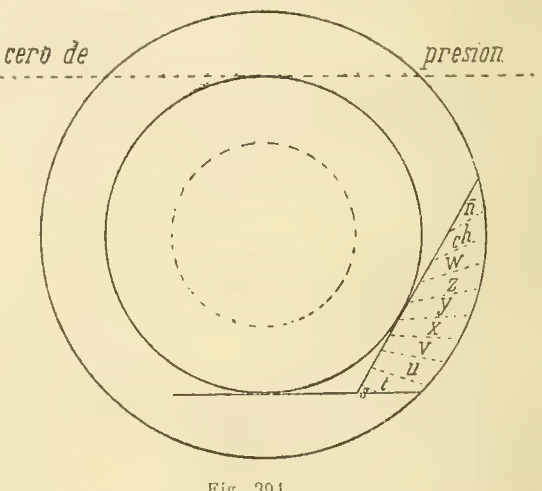


Fig. 394.

## VIII.

Examinemos ahora un caso en que el nivel del líquido interior se halle en la celda compresora por debajo del plano horizontal tirado á la altura del centro del foro; y supongamos que este nivel interno diste $8^m$ de la línea del cero de presion.

Si, por los puntos de division del arco exterior de la galería, circunscripto por el tabique de la celda, tiramos tangentes á la semicircunferencia inferior de un círculo descrito con un radio igual á $3^m$ (1), habrá de coincidir, en la rotacion foral, con una de estas tangentes el nivel interior del líquido de la celda, ó bien ocupará una posicion intermedia, cuando el aire quede reducido dentro del compresor á las $\frac{10}{18}$ avas partes de su capacidad, ocupando el agua, por consiguiente, las $\frac{8}{18}$ avas partes restantes. El papel cuadriculado por milímetros superficiales asigna esta posicion en la porcion $x$, segun marca la *figura* 394.

(1) Distancia pedida $= 8^m$ contados desde la línea del cero de presion; ó, lo que es lo mismo, $=$ á $3^m$, contados desde el centro: luego el círculo debe tener $3^m$ de radio.

## IX.

Veamos un caso en que el nivel interno no baje hasta el plano horizontal tirado por el centro del aparato; y supongamos que ese nivel diste $2^m$ de la línea del cero de presion *(fig.* 395*)*.

Entonces, si por los puntos de division del arco exterior de la galería, circunscripto por el tabique celular, tiramos tangentes á la semicircunferencia superior de un círculo descrito tambien con $3^m$ de radio (1), resultará de precision que alguna de esas tangentes, ú otra intermedia, habrá de coincidir con el nivel interno de la celda en cuestion. No es, pues, preciso tirar tangentes infinitas.

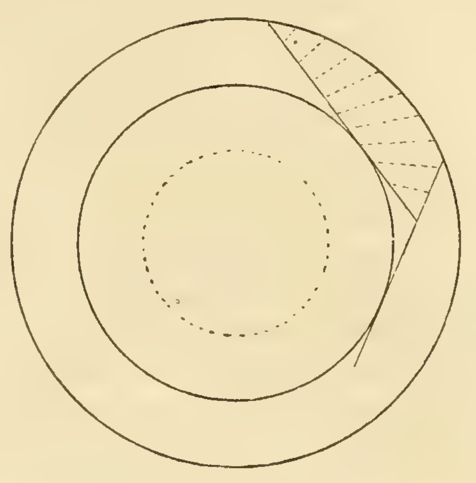


Fig. 39˙.

## X.

En el primero de los tres casos examinados, son radiales las líneas divisorias. En los otros dos son tangentes á circunferencias descritas con un radio tal, que las horizontales superiores ó inferiores distan de la línea del cero de presion, una longitud igual á la altura del agua compresora, cuyo efecto queremos estudiar.

Parece, pues, que hay posibilidad de tres casos diferentes; pero en realidad no sucede tal cosa. En el caso de ser radiales las líneas divisorias, hay que mirarlas como tangentes á un círculo de radio cero; y, hecha esta consideracion, el concepto intuitivo de este método gráfico, queda reducido á lo siguiente:

En la rotacion de una celda, el nivel del agua compresora está siempre horizontal y ese plano horizontal siempre será tangente á un cierto círculo perpendicular al eje del foro. El centro de este círculo está en este mismo eje, y el radio tiene que ser

$= \pm 5^m \mp$ la carga de agua compresora.

Este radio es, pues, siempre una cantidad conocida:

Una de las infinitas tangentes que al círculo de este radio conocido podemos tirar, es precisamente la que representa el nivel del agua en la celda,

---

(1) Distancia pedida $= 2^m$ por debajo de la línea del cero de presion. La parte superior de una circunferencia de radio $= 3$, tirada desde un centro que se halla á $5^m$ por debajo de la línea del cero de presion, satisface á la condicion pedida.

correspondiente á la carga de agua compresora que nos ha servido para la determinacion del radio:

Tiremos, pues, no una infinidad de tangentes, porque eso no es posible, pero sí un cierto número, adecuadamente; ¿y cuál de esas tangentes servirá? Aquella que divida á la celda en dos partes tales, que el número de milímetros cuadrados correspondiente al aire, sea el que requiera la carga de agua, conforme á la ley de Mariotte.

El procedimiento es, pues, como sigue:

Parte teórica.

*A*. Cálculo geométrico (deducido de las dimensiones del foro) del número de milímetros cuadrados correspondiente á una celda (el cual representará el número de unidades cúbicas, si suponemos = 1 la profundidad del foro);

*B*. Cálculo (conforme á la ley de Mariotte) del número de milímetros cuadrados que quedarán llenos de aire en una celda bajo una determinada carga de agua (el cual representará tambien el número de unidades cúbicas bajo la misma suposicion);

*C*. Cálculo del radio correspondiente á esa predeterminada carga de agua.

Parte gráfica.

1.° Trazado, segun *A*, del foro en papel cuadriculado por milímetros;

2.° Trazado, segun *C*, del círculo correspondiente á la carga de agua;

3.° Trazado de varias tangentes de tanteo á este círculo;

4.° Cuenta en el papel cuadriculado del número de los milímetros cuadrados destinados al aire en cada celda, suponiendo buena cada tangente;

5.° Eleccion de aquella sola tangente que divida á la celda de tal modo, que resulte para el aire un número de milímetros cuadrados igual ó muy próximo á *B*.

Esta cuenta de los milímetros cuadrados en el papel gráfico, exije sostenidísima paciencia, pero no es tan enojosa como pudiera pensarse á primera vista. El papel cuadriculado lo está tambien por centímetros cuadrados y cuartos de centímetro cuadrado, lo que facilita grandemente la cuenta, muy delicada, sin embargo, especialmente cuando las tangentes resultan oblícuas á las rayas cuadriculares.

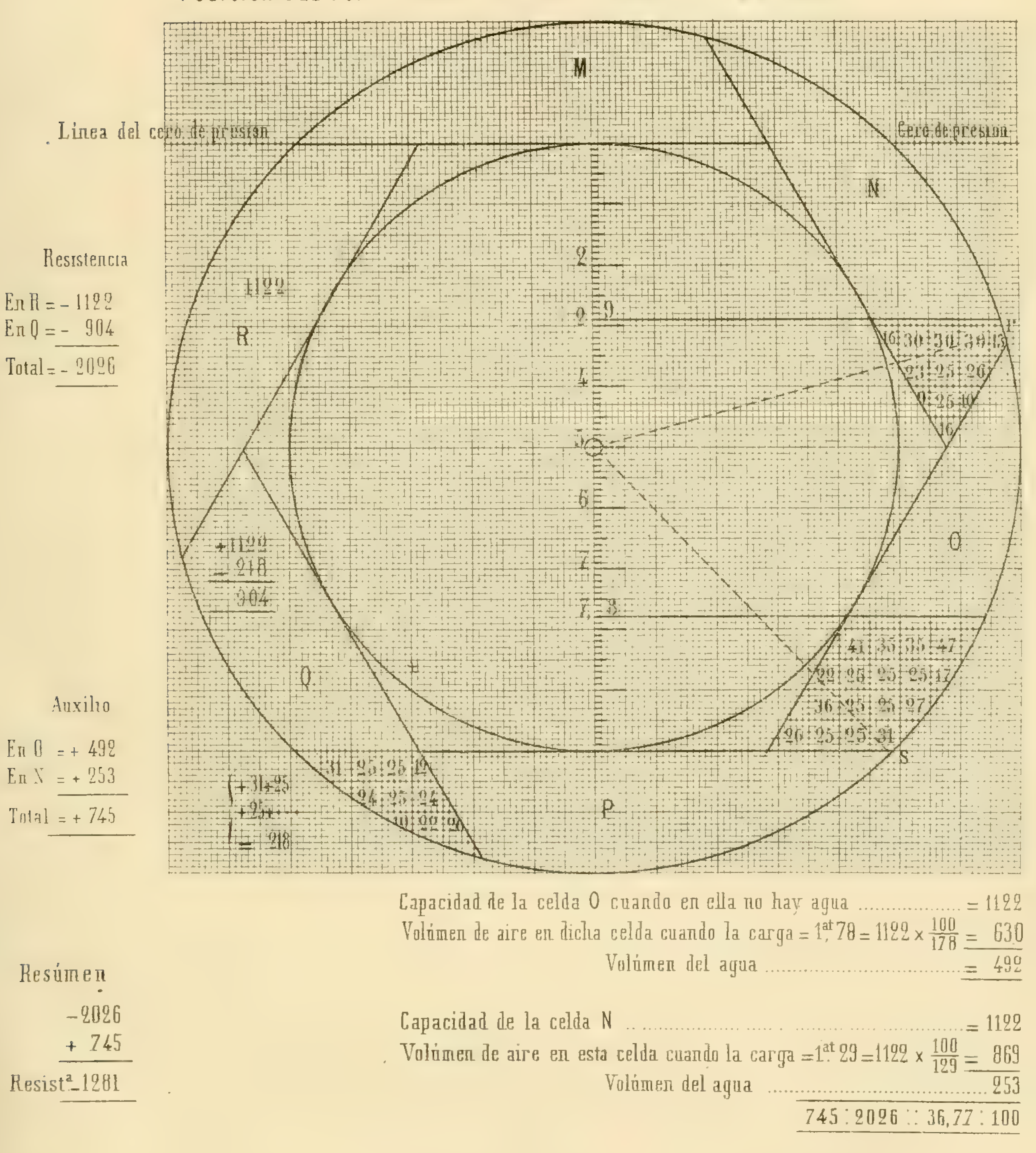
La misma circunferencia sirve para dos clases de tangentes.

La circunferencia de $3^m$ nos dará en alguna de sus tangentes superiores ó inferiores los niveles internos de una celda, correspondientes á las cargas de agua iguales á $2^m$ y á $8^m$. La circunferencia de $2^m$ de radio, nos dará la correspondiente á cargas de 3 y $7^m$...., etc.

A la vez pueden trazarse estas tangentes correlativas, tirándolas todas inferiormente, unas hácia la izquierda y otras hácia la derecha *(fig. 396)*.

(Frente á la pág. 571.)

POSICION DEL FORO CUANDO LA CELDA P ACABA SU ALMACENAJE.




Capacidad de la celda O cuando en ella no hay agua .................... = 1122

Volúmen de aire en dicha celda cuando la carga = $1^{at},78 = 1122 \times \frac{100}{178}$ = 630

Volúmen del agua .................... = 492

Capacidad de la celda N .................... = 1122

Volúmen de aire en esta celda cuando la carga = $1^{at},29 = 1122 \times \frac{100}{129}$ = 869

Volúmen del agua .................... 253

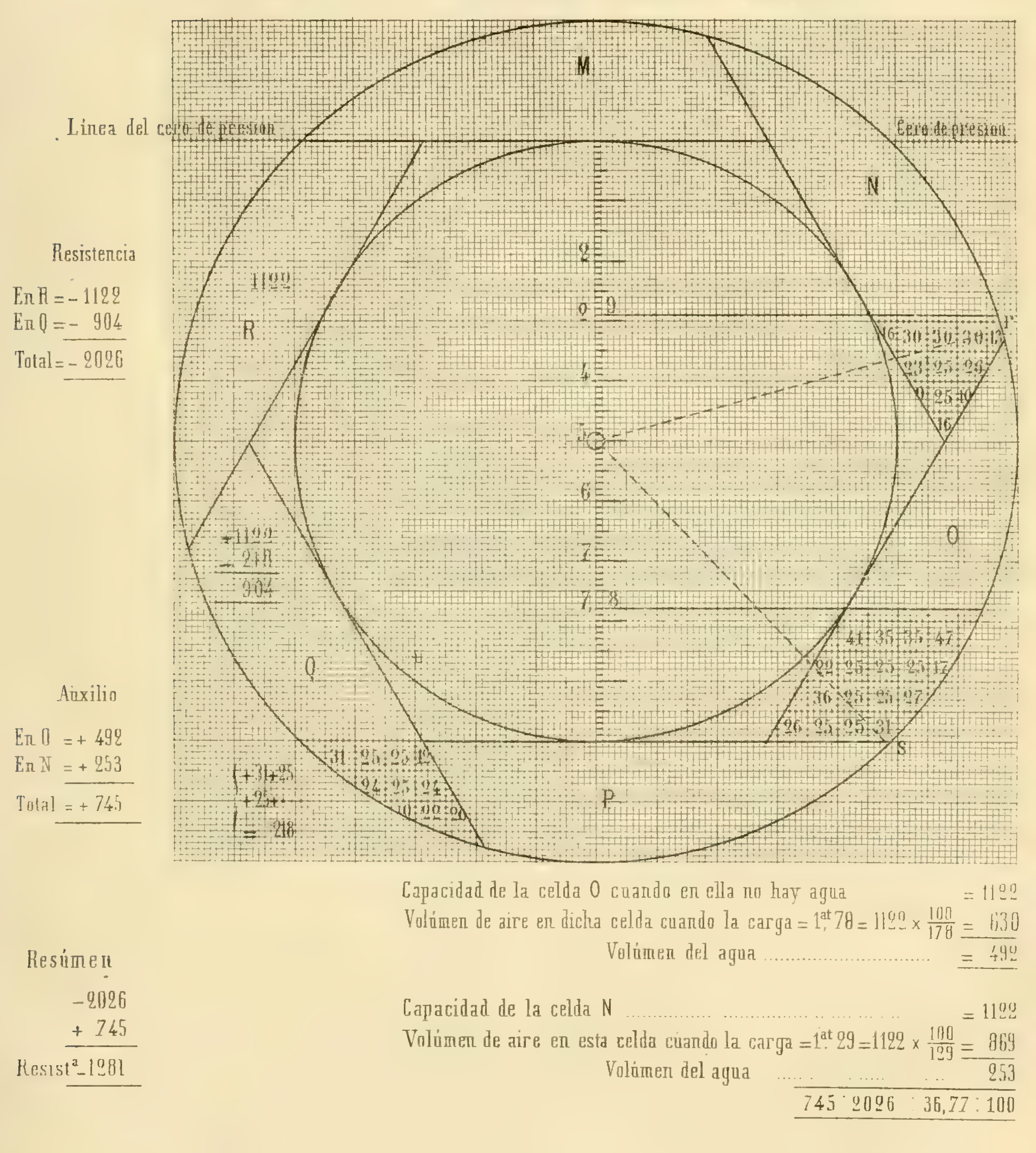
745 : 2026 :: 36,77 : 100

Resúmen

| |
|---|
| −2026 |
| + 745 |
| Resist.ª −1281 |

(Frente á la pág. 571.)

POSICION DEL FORO CUANDO LA CELDA P ACABA SU ALMACENAJE.



Siendo dextrorsum la rotacion, corresponderán en la figura siguiente á la carga de 8 metros las divisiones de la derecha, y á la de $2^m$ las de la izquierda, si el radio de la circunferencia de puntos = 3.

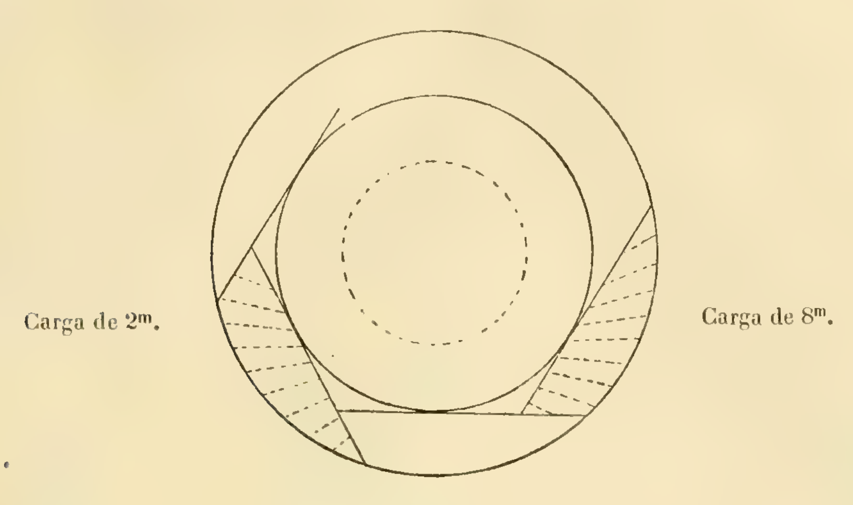



Fig. 396.

Por de contado, que no es preciso dibujar la mayor parte de las tangentes próximamente adecuadas; basta determinar las relativas á las porciones con que casi hayan de coincidir los niveles, y hacer en esa region cuidadosas y esmeradas subdivisiones. (La facilidad aconseja evitar las construcciones y trazados que hubieran de resultar muy diagonales á las cuadrículas del papel.)

## XI.

De todas las posiciones que pueden ocurrir, hay dos de importancia capital:

1.ª Aquella en que acaba una celda de almacenar el aire que ha comprimido préviamente;

2.ª La en que empieza á almacenar el aire que ha condensado.

## XII.

La posicion 1.ª está representada en la lámina adjunta.

*P* ha acabado de almacenar. La celda *O* lleva ya 120° de estar condensando (pues comenzó su trabajo cuando ocupaba la posicion que ahora tiene la celda *M*). La *N* lleva solo 60° de condensacion.

Y el auxilio ha llegado á su máximum, pues el agua entrada en *O* no puede ya favorecer más enérgicamente la potencia.

Descontado el auxilio, la resistencia, cuando una de las celdas acaba de terminar su proceso de almacenaje, queda reducida á lo que representa el rayado de la *figura* 397.

Para calcular bien el efecto dinámico de estas masas no anuladas, se necesitaría determinar préviamente sus centros de gravedad y disponer el computo en consecuencia.

## XIII.

La 2.ª posicion de importancia capital (que es aquella en que una celda empieza á almacenar), está representada en la posicion de la lámina adjunta.

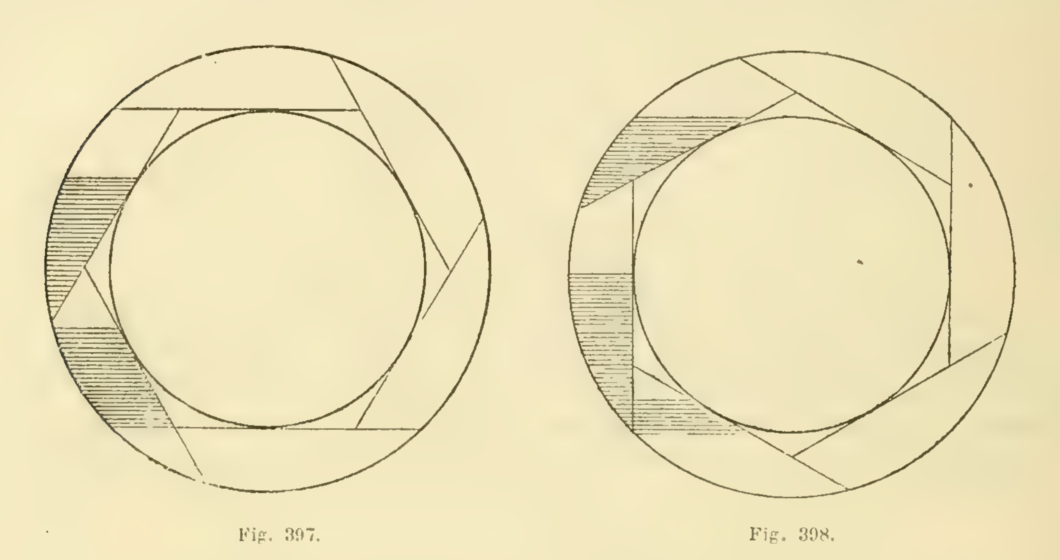


Fig. 397. Fig. 398.

El almacenaje, desde esta posicion hasta que el tabique de la celda $O$ se pone horizontal, dura $27^\circ \frac{4}{10}$ próximamente, puesto que el ángulo $XOZ$ es de esta magnitud.

Y, como es igual á 60° el ángulo $r\,o\,s$ de la lámina anterior, resulta que el foro suspende la operacion de almacenar durante $32^\circ \frac{6}{10}$, seis veces en cada rotacion completa de 360° cuando las celdas son 6.

Descontado el auxilio, la resistencia cuando una celda compresora empieza el almacenaje queda reducida á lo que representan las rayas de la *fig.* 398. Hay que determinar los centros de gravedad de esas tres masas resistentes.

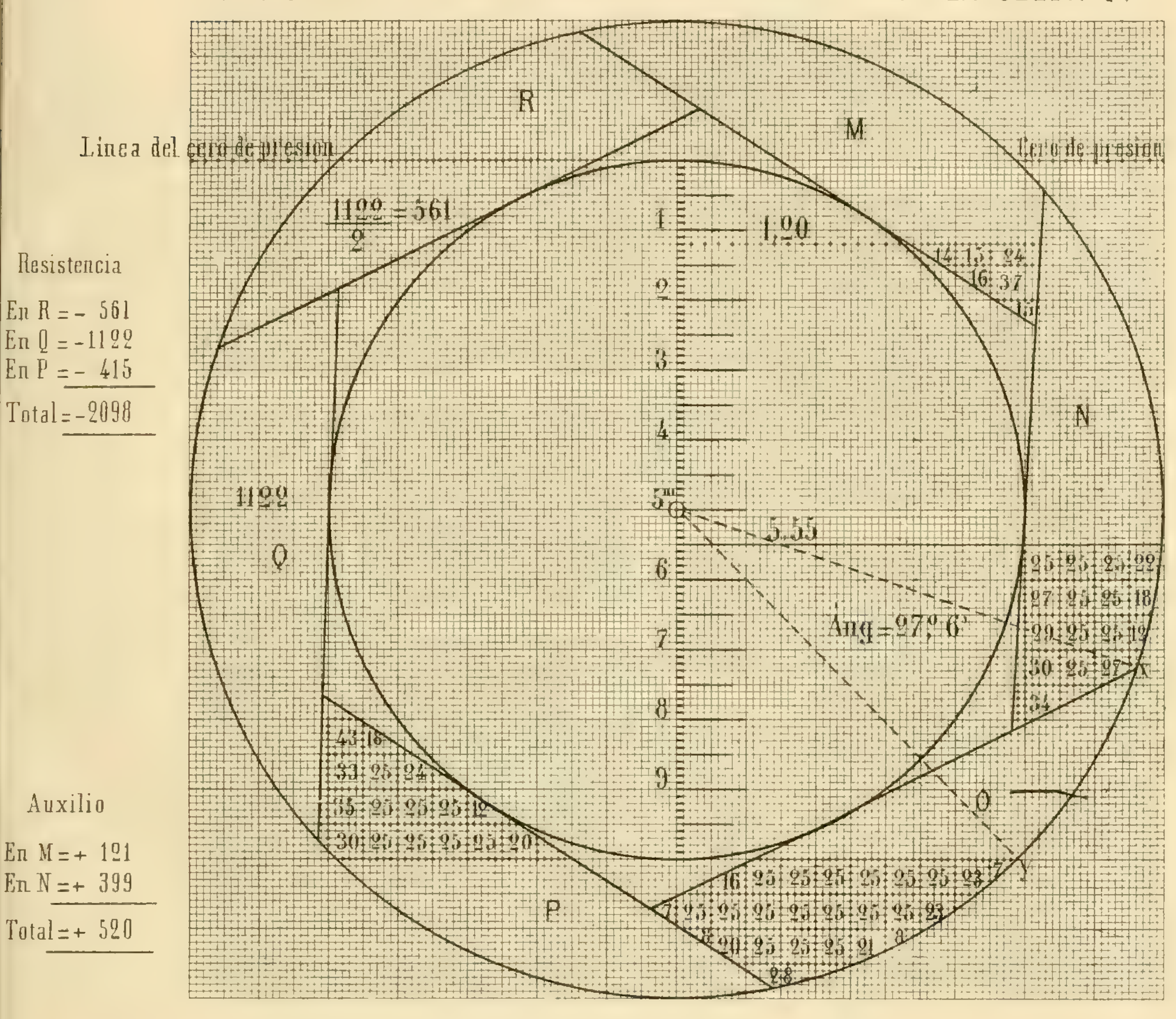
## XIV.

Durante los $32^\circ \frac{6}{10}$ en que se suspende el almacenaje, disminuye diferencialmente la masa auxiliar.

En efecto: á partir de la posicion representada en la 1.ª lámina, pág. 571,

(Frente á la pág. 572)

# POSICION DEL FORO AL EMPEZAR EL ALMACENAJE LA CELDA O.




Celda O. El peso de su liquido compresor resulta anulado.

Celda N. Volúmen del aire cuando la carga = $1^{at}_{,}55 = 1122 \times \frac{100}{155}$ = 723 } 1122
Volúmen del agua ........................ = 399

Celda M. Volúmen del aire cuando la carga = $1^{at}_{,}12 = 1122 \times \frac{100}{112}$ = 1001 } 1122
Volúmen del agua ........................ = 121

Resúmen

| | |
|---|---|
| | -2098 |
| | + 520 |
| Resistª | -1578 |

Resistencia minimum = 1281
Resistencia máximum = 1578

Palpitacion = 297

Ángulo yox = 27° 6'.

Luego el almacenaje dura cerca de 27° ⅔

520 : 2098 :: 24,78 : 100

próxima, y continuando la rotacion dextrorsum del aparato, empieza á entrar líquido compresor en la celda $M$, y aumenta considerablemente el que ya en $N$ se había alojado. Por este doble concepto va aumentando la masa auxiliar.

Pero disminuye en más rápida razon la eficacia del auxilio con que favorecia á la potencia el líquido existente en la celda $O$. Verdad es que en este compartimiento sigue entrando gran cantidad de líquido; pero la celda, en su giro, va penetrando bajo el plano horizontal inferior tangente al cilindro exterior de la galería; y toda la masa líquida que con la celda penetra en el segmento neutro inferior, deja de ser auxiliar, porque no pesa, anulada su gravedad por el eje del aparato.

El auxilio crece, pues, en las celdas $M$ y $N$, pero mengua más en $O$, por lo cual nos resulta diferencial y decreciente esta fase del trabajo auxiliar.

Y tanto disminuye el auxilio de la celda $O$, que es enteramente nulo cuando el foro, en su rotacion dextrorsum, llega á la posicion representada en la lámina última, desde la cual, y durante los 27°,1 del almacenaje, cesa de favorecer á la potencia el líquido que continúa llenando la misma celda $O$.

Para que haya Vorstellung de estos cambios durante la suspension del almacenaje, examínese con atencion la *figura* 399. En ella las rayas plenas horizontales simbolizan la posicion de los niveles, representada en la penúltima de las láminas anteriores; las diagonales de rayas y de puntos indican esos mismos niveles 32°,90 despues, esto es, en la posicion de la última lámina: y la diagonal de solos puntos, es una línea de construccion.

Ahora bien: la celda $O$, en ese giro de casi 33°, ha admitido una masa líquida

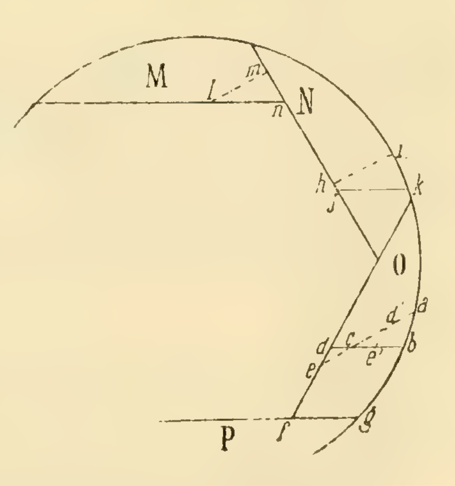



Fig. 399.

$$= abc - dce = abe'd'$$

pero ha perdido el gran volúmen $bgfd$.

La celda $N$ ha aumentado su masa con $hikj$; y la celda $M$ ha adquirido $lmn$.

Pero evidentemente

$$abe'd' + hikj + lmn < bgfd. \text{ Luego, etc.}$$

## XV.

Hasta que el tabique divisorio entre las celdas $N$ y $O$ se pone horizontal, no cesa el almacenaje de $O$. Sigue, pues, llenándose de líquido la celda $O$, pero este líquido en nada favorece ni auxilia á la potencia, por estar la celda siempre anegada en el segmento neutro inferior.

Mientras tanto continúa la condensacion en las celdas $M$ y $N$, y, por tanto, van estas cargándose de agua más y más durante 27° $\frac{4}{10}$; por manera que el trabajo de la masa auxiliar entra en una nueva fase, de eficacia creciente, pero no diferencial.

Para Vorstellung ó representacion de los cambios en la masa auxiliar, durante el almacenaje del aire condensado en la celda $O$, puede consultarse la *figura* 400.

La celda $O$ acaba por llenarse de líquido, pero el nivel nunca sube por encima de la horizontal $ab$, límite del segmento neutro inferior: gana más y más en líquido, pero sin favorecer á la potencia. Pero la celda $N$ gana la masa $(bcd - c'bd')$, y la $M$ gana $efgh$.

Las celdas $N$ y $M$ ganan, pero no diferencialmente.

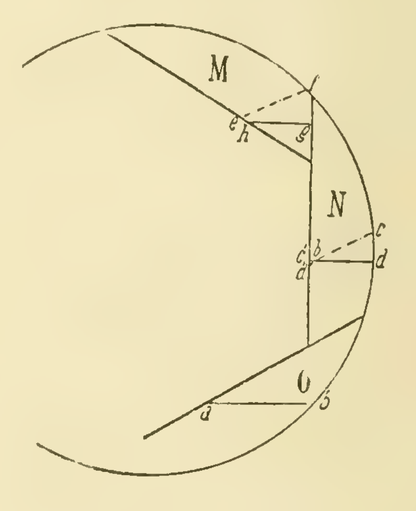


Fig. 400.

## XVI.

Resumiendo, pues, lo dicho respecto del foro tipo puesto á discusion, desde la pág. 566, y constituido por 6 celdas compresoras cuyos radios sean iguales á 5 y á 7 metros, podemos dar por establecido:

1.° El período de succion dura 60°;
2.° El de condensacion 152 $\frac{6}{10}$;
3.° El de almacenaje 27° $\frac{4}{10}$;
4.° Siempre hay masa auxiliar;
5.° Esta masa está sujeta á fluctuaciones;
6.° En su máximum es

$$= \left(\frac{745}{2026} = 0.3677\right) \times R_{1}$$

siendo $R_1$ la resistencia.

7.° En su mínimum

$$=\left(\frac{520}{2098}=0{,}2478\right)\times R_1 \text{ (1)};$$

8.° Las fluctuaciones del auxilio son de dos clases:

Una diferencial decreciente;

Otra creciente, pero no diferencial;

9.° Desde el máximum al mínimum, el proceso del trabajo auxiliar es diferencial y decreciente: dura 32° $\frac{9}{10}$;

10.° Desde el mínimum hasta el máximum, es creciente y no diferencial: dura 27° $\frac{1}{10}$;

11.° El conocimiento de los pesos y las variaciones en la masa líquida auxiliar, no es del todo suficiente para determinar su potencia dinámica: es necesario agregar á este conocimiento el de los centros de gravedad de los volúmenes líquidos que constituyen el auxilio (ó bien, lo que viene á ser lo mismo, los de las masas no anuladas de la resistencia).

## XVII.

Para formar la curva de las palpitaciones del auxilio durante los dos períodos de suspension del almacenaje y del almacenaje mismo, mi amigo Mestre dividió en 100 partes el tiempo de la condensacion y el almacenaje; calculó teóricamente los volúmenes de aire y agua para cada una de esas 100 divisiones, con arreglo á la ley de Mariotte; y luego determinó por el método gráfico el ángulo que debe haber recorrido cada celda para llegar al sitio correspondiente en esos 100 espacios de tiempo.

Hecho este trabajo con la mayor prolijidad para encontrar 100 puntos de referencia, procedió á determinar de 3 en 3 grados el estado de la condensacion; y, reducidos así los períodos á un comun denominador en cuanto al tiempo, pudo ya sumar correspondientemente los auxilios con que 3 de las celdas favorecen constantemente la potencia.

Y, con estos preciosos antecedentes, pude ya trazar la curva, que luego se verá en la primera lámina siguiente, y se deduce de los números que siguen.

---

(1) Como una representacion muy grosera, puede decirse que el auxilio en foros como el propuesto, oscila entre $\frac{1}{4}$ y $\frac{1}{3}$ de la Resistencia.

ESTADO *demostrativo de los volúmenes de aire y agua existentes en cada celda de las dimensiones típicas (pág. 566) durante 100 períodos desiguales de tiempo, correspondientes á alturas de líquido compresor, crecientes de tercio en tercio de metro, desde que empieza la condensacion hasta que termina el almacenaje.*

| Tension en atmósferas absolutas. | Volúmen del aire en una celda cuya capacidad es igual á $11^{m^3},222$. | Volúmen del agua en la misma celda. | Angulo que debe caminar la celda para que el líquido compresor produzca la tension anotada en la primera columna. |
|---|---|---|---|
| $1^{atm},01$ | 11,11111 | 0,11111 | 4° 15′ |
| 1 ,02 | 11,00218 | 0,22004 | 8° |
| 1 ,03 | 10,89536 | 0,32686 | 11° |
| 1 ,04 | 10,79060 | 0,43162 | 14° 30′ |
| 1 ,05 | 10,68783 | 0,53439 | 17° |
| 1 ,06 | 10,58700 | 0,63522 | 20° |
| 1 ,07 | 10,48806 | 0,73416 | 22° 35′ |
| 1 ,08 | 10,39095 | 0,83127 | 25° 10′ |
| 1 ,09 | 10,29562 | 0,92660 | 27° 15′ |
| 1 ,10 | 10,20202 | 1,02020 | 29° 30′ |
| 1 ,11 | 10,11011 | 1,11211 | 31° 24′ |
| 1 ,12 | 10,01984 | 1,20238 | 33° 15′ |
| 1 ,13 | 9,93117 | 1,29105 | 35° 12′ |
| 1 ,14 | 9,84405 | 1,37817 | 37° 15′ |
| 1 ,15 | 9,75845 | 1,46377 | 39° 10′ |
| 1 ,16 | 9,67433 | 1,54789 | 40° 48′ |
| 1 ,17 | 9,59164 | 1,63058 | 42° 25′ |
| 1 ,18 | 9,51036 | 1,71186 | 44° 15′ |
| 1 ,19 | 9,43044 | 1,79178 | 45° 45′ |
| 1 ,20 | 9,35185 | 1,87037 | 47° 10′ |
| 1 ,21 | 9,27456 | 1,94766 | 48° 45′ |
| 1 ,22 | 9,19854 | 2,02368 | 50° 5′ |
| 1 ,23 | 9,12376 | 2,09846 | 51° 35′ |
| 1 ,24 | 9,05018 | 2,17204 | 52° 45′ |
| 1 ,25 | 8,97778 | 2,24444 | 54° 25′ |
| 1 ,26 | 8,90652 | 2,31570 | 55° 42′ |
| 1 ,27 | 8,83639 | 2,38583 | 57° 12′ |
| 1 ,28 | 8,76736 | 2,45486 | 58° 35′ |
| 1 ,29 | 8,69940 | 2,52282 | 60° |
| 1 ,30 | 8,63248 | 2,58974 | 61° 15′ |
| 1 ,31 | 8,56658 | 2,65564 | 62° 15′ |
| 1 ,32 | 8,50168 | 2,72054 | 63° 30′ |
| 1 ,33 | 8,43776 | 2,78446 | 65° |
| 1 ,34 | 8,37479 | 2,84743 | 66° 15′ |
| 1 ,35 | 8,31276 | 2,90946 | 67° 30′ |
| 1 ,36 | 8,25173 | 2,97059 | 69° |
| 1 ,37 | 8,18140 | 3,03082 | 70° 10′ |
| 1 ,38 | 8,13204 | 3,09018 | 71° 30′ |
| 1 ,39 | 8,07354 | 3,14868 | 73° |
| 1 ,40 | 8,01587 | 3,20635 | 74° 12′ |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1$^{atm}$,41 | 7,95902 | 3.26320 | 75° 15′ |
| 1 ,42 | 7.90297 | 3.31925 | 76° 14′ |
| 1 .43 | 7.84771 | 3.37451 | 77° 26′ |
| 1 .44 | 7,79321 | 3.42901 | 78° 48′ |
| 1 .45 | 7.73946 | 3.48276 | 80° 5′ |
| 1 .46 | 7,68645 | 3.53577 | 81° 15′ |
| 1 .47 | 7.63416 | 3.58806 | 82° 32′ |
| 1 .48 | 7.58258 | 3.63964 | 83° 36′ |
| 1 ,49 | 7,53169 | 3.69053 | 84° 50′ |
| 1 ,50 | 7.48148 | 3.74074 | 86° 15′ |
| 1 ,51 | 7.43193 | 3.79029 | 87° 28′ |
| 1 ,52 | 7.38304 | 3,83918 | 88° 30′ |
| 1 ,53 | 7,33478 | 3,88744 | 89° 45′ |
| 1 .54 | 7.28716 | 3.93506 | 91° |
| 1 .55 | 7.24014 | 3.98208 | 92° 4′ |
| 1 ,56 | 7.19373 | 4,02849 | 93° 15′ |
| 1 ,57 | 7,14791 | 4.07431 | 94° 30′ |
| 1 ,58 | 7.10267 | 4,11955 | 95° 50′ |
| 1 ,59 | 7,05800 | 4,16422 | 96° 48′ |
| 1 ,60 | 7.01389 | 4,20833 | 98° 12′ |
| 1 ,61 | 6.97032 | 4.25190 | 99° 12′ |
| 1 ,62 | 6.92730 | 4.29492 | 100° 12′ |
| 1 .63 | 6.88480 | 4,33742 | 101° 45′ |
| 1 ,64 | 6,84282 | 4,37940 | 102° 35′ |
| 1 ,65 | 6.80135 | 4.42087 | 103° 55′ |
| 1 ,66 | 6.76037 | 4,46185 | 105° 5′ |
| 1 ,67 | 6.71989 | 4.50233 | 106° 10′ |
| 1 ,68 | 6.67989 | 4.54233 | 107° 20′ |
| 1 .69 | 6.64037 | 4.58185 | 108° 35′ |
| 1 .70 | 6,60131 | 4,62091 | 109° 40′ |
| 1 ,71 | 6.56270 | 4,65952 | 111° |
| 1 ,72 | 6,52455 | 4.69767 | 112° 15′ |
| 1 ,73 | 6.48683 | 4.73539 | 113° 25′ |
| 1 ,74 | 6,44955 | 4,77267 | 114° 50′ |
| 1 ,75 | 6,41270 | 4.80952 | 116° |
| 1 ,76 | 6,37626 | 4,84596 | 117° 10′ |
| 1 ,77 | 6.34024 | 4.88198 | 118° 35′ |
| 1 ,78 | 6,30462 | 4.91760 | 120° |
| 1 ,79 | 6.26940 | 4.95282 | 121° |
| 1 ,80 | 6,23457 | 4.98765 | 122° 10′ |
| 1 ,81 | 6,20012 | 5.02210 | 123° 20′ |
| 1 .82 | 6.16606 | 5.05616 | 124° 25′ |
| 1 .83 | 6.13236 | 5.08986 | 125° 45′ |
| 1 .84 | 6,09903 | 5.12319 | 127° 10′ |
| 1 ,85 | 6.06606 | 5.15616 | 128° 36′ |
| 1 .86 | 6,03345 | 5.18877 | 129° 55′ |
| 1 .87 | 6,00119 | 5,22103 | 131° 12′ |
| 1 .88 | 5.96927 | 5.25295 | 132° 40′ |
| 1 .89 | 5.93768 | 5.28454 | 134° |
| 1 .90 | 5,90643 | 5.31579 | 135° 30′ |
| 1 ,91 | 5.87551 | 5,34671 | 137° |
| 1 .92 | 5,84491 | 5.37731 | 138° 30′ |
| 1 .93 | 5,81462 | 5,40760 | 140° 5′ |
| 1 .94 | 5.78465 | 5.43757 | 141° 45′ |
| 1 .95 | 5,75498 | 5.46724 | 143° 30′ |
| 1 .96 | 5,72562 | 5.49660 | 145° |
| 1 .97 | 5.69656 | 5.52566 | 146° 45′ |
| 1 .98 | 5.66779 | 5.55443 | 148° 30′ |
| 1 .99 | 5.63931 | 5.58291 | 150° 15′ |
| 2 | 5,61111 | 5,61111 | 152° 15′ |

*Cuadro del agua existente en las 3 celdas, calculada de 3 en 3 grados.*

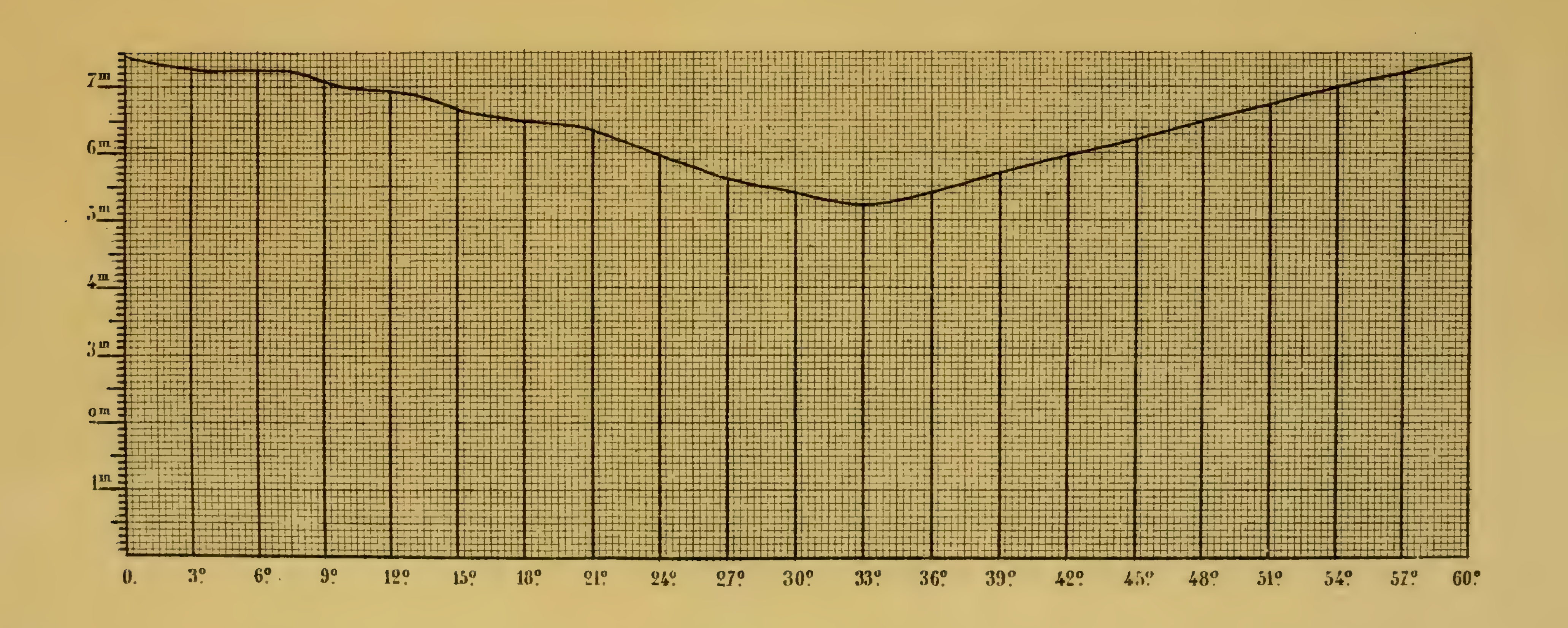
| Grados. | 1.ª celda: m³. | 2.ª celda: m³. | 3.ª celda: m³. | Total del agua en las 3 celdas: m³. | Agua de la 3.ª, situada en el segmento neutro: m³. | Auxilio: m³. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0,00000 | 2,52282 | 4,91760 | 7,44042 | 0,00000 | 7,44042 |
| 3 | 0,07480 | 2,58347 | 5,00797 | 7,66624 | 0,43360 | 7,23264 |
| 6 | 0,16216 | 2,83484 | 5,08986 | 8,08686 | 0,86055 | 7,22631 |
| 9 | 0,25565 | 2,97059 | 5,16026 | 8,38650 | 1,32416 | 7,06234 |
| 12 | 0,35679 | 3,10968 | 5,23167 | 8,69814 | 1,78555 | 6,91259 |
| 15 | 0,45271 | 3,24899 | 5,29195 | 8,99665 | 2,32666 | 6,66999 |
| 18 | 0,56800 | 3,41540 | 5,35691 | 9,34031 | 2,84888 | 6,49143 |
| 21 | 0,67357 | 3,52441 | 5,41359 | 9,61157 | 3,28333 | 6,32824 |
| 24 | 0,79097 | 3,65660 | 5,46724 | 9,91481 | 3,98000 | 5,93481 |
| 27 | 0,91181 | 3,77047 | 5,52566 | 10,20794 | 4,55569 | 5,65225 |
| 30 | 1,01439 | 3,89696 | 5,57071 | 10,51206 | 5,10750 | 5,40456 |
| 33 | 1,19018 | 4,01855 | Toda el agua que sigue entrando, forma parte del segmento neutro. | 5,20873 | Toda el agua que sigue entrando, forma parte del segmento neutro. | 5,20873 |
| 36 | 1,32505 | 4,11955 | | 5,44460 | | 5,44460 |
| 39 | 1,45632 | 4,23011 | | 5,68643 | | 5,68643 |
| 42 | 1,60845 | 4,33742 | | 5,94587 | | 5,94587 |
| 45 | 1,75182 | 4,44136 | | 6,19318 | | 6,19318 |
| 48 | 1,91105 | 4,56320 | | 6,47425 | | 6,47425 |
| 51 | 2,06959 | 4,65952 | | 6,72901 | | 6,72901 |
| 54 | 2,22656 | 4,74781 | | 6,97437 | | 6,97437 |
| 57 | 2,37648 | 4,83555 | | 7,21203 | | 7,21203 |
| | | | | | | Auxilio medio, 6,41120 (1) |

Con arreglo á los números anteriores está formada la curva de la adjunta lámina.

(1) No se olvide (y permítase la insistencia) que no basta con conocer los pesos de las masas auxiliares, ni la parte que anulen de la resistencia, ni la posicion de la parte anulada, sino que, además, es necesario conocer, en cada foro y en cada caso, el centro de gravedad de la parte de resistencia no anulada.

(Frente á la pág. 578.)

CURVA DE LAS PALPITACIONES DE LAS 3 MASAS AUXILIADORAS DE LA POTENCIA EN LAS DIMENSIONES PUESTAS Á ESTUDIO.



## XVIII.

Los límites extremos de las palpitaciones del auxilio, visibles en la curva, se acercan notablemente, cuando aumenta el número de las celdas compresoras.

Lo cual viene á ser lo mismo que decir: la CONSTANCIA DEL AUXILIO AUMENTA CON EL NÚMERO de los compartimientos compresores.

Y (conforme con lo que hemos visto á cada paso) la esencia de la mejora consiste en un reparto mejor de los períodos y esfuerzos del trabajo auxiliar.

Y, con efecto: el máximum del auxilio no llega con 12 celdas compresoras á importar, como antes, el 0,3677 del peso de la resistencia; pero el mínimum jamás desciende al 0,2478.

Los límites con 12 celdas están entre 29 % y 35 %.

Véamoslo.

Cuando hay 12 celdas compresoras, la resistencia consiste en *a b c d e f g h* (*fig.* 401).

Calculémosla para radios como $50^{dec} : 70^{dec}$, iguales respectivamente á $r$ y $R$.

Segun el método de cálculos anteriores, tendremos:

Fig. 401.

1.° Sector $zox = \pi \; R^2 \times \left( \dfrac{\text{áng. } yox}{360} \times 2 \right)$ (*fig.* 402).

$$= \pi \; R^2 \times \frac{\text{áng. cuyo cos. es } r}{180}$$

$$= \frac{\pi}{180} R^2 \times \text{áng. cuyo cos. es } \frac{5}{7}$$

$$= 3797.$$

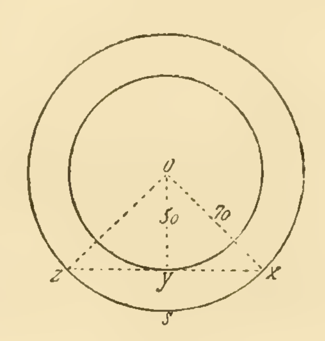


Fig. 402.

2.° Triángulo $xoy = yx \times \frac{1}{2}\, oy = \sqrt{70^2 - 50^2} \times \dfrac{50}{2}$

Triángulo $zox = 2 \times$ triángulo $xoy$
$= 2449.$

3.° Segmento $zxs = 3797 - 2449$
$= 1348.$

4.° Trapezoide $abcd = \dfrac{\text{corona} - 2 \text{ segmentos}}{2}$ (*fig.* 403).

$$= \tfrac{1}{2} \text{ corona} - \text{segmento}$$

$$= \frac{\pi\,(R^2 - r^2)}{2} - 1348$$

$$= 2422.$$

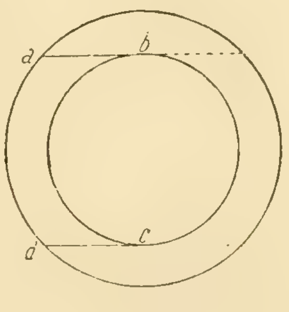


Fig. 403.

Y, por consiguiente,

$$
\begin{aligned}
5.^{\circ}\ \ \textit{abcdefgh}\ (\textit{fig.}\ 401) \quad &= \text{trapezoide} - 6\ \text{prismas} \\
&= 2422 - \left(\frac{\text{dodecágono} - \text{círculo}}{2}\right) \\
&= 2422 - \left(\frac{r^2}{2}\,(k - \pi)\right) \\
&= 2422 - \left(\frac{25000}{2} \times (3{,}2152 - 3{,}1416)\right) \\
&= 2330.
\end{aligned}
$$

6.° Consideremos como constante á esta Resistencia para cualquiera de las posiciones que en su giro pueda tomar el foro de 12 celdas (en lo que se cometerá un error insignificante).

Y, por el método gráfico, hallarémos que:

1.° El auxilio, cuando una de las 12 celdas acaba su almacenaje, asciende á 836. Comparado este Auxilio con la Resistencia, tendremos

$$\frac{836}{2330} = 0{,}3587.$$

2.° Y, cuando una celda empieza á almacenar el aire que ha comprimido, importa el Auxilio 692; que, comparado con la Resistencia, da

$$\frac{692}{2330} = 0{,}2970.$$

Las láminas contíguas lo evidencian, así como que el almacenaje y su cesacion temporal ó suspension temporal, duran en cada celda períodos de tiempo próximamente iguales: sensiblemente 15° el uno y 15° la otra.

## XIX.

Conviene, pues, extraordinariamente aumentar el número de las celdas compresoras, no solo porque es mucho mayor el volúmen de aire aspirado en cada revolucion del foro, cuanto porque las palpitaciones del Auxilio oscilan entre límites ménos extensos.

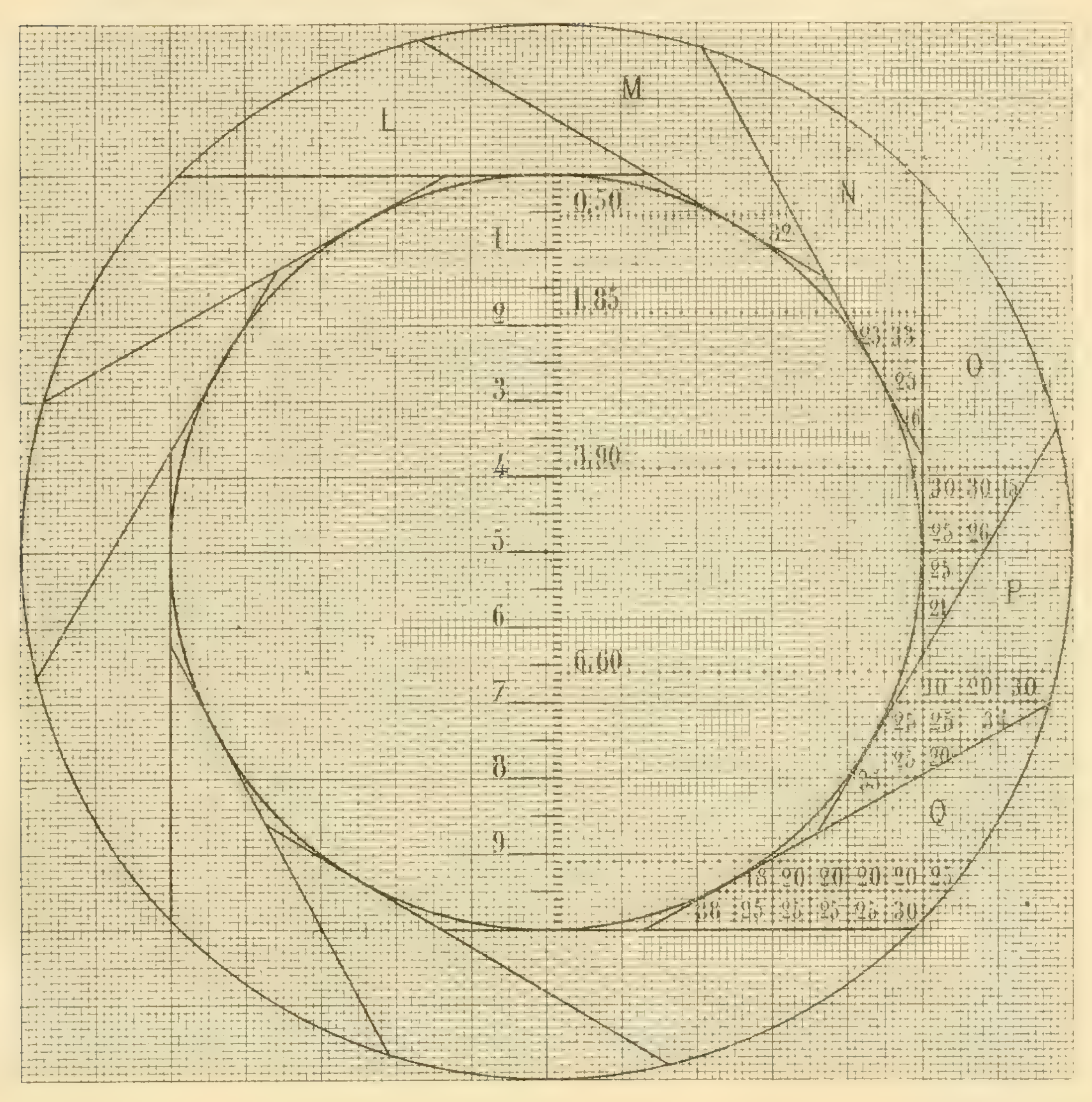
## XX.

Y hay más; notablemente más. Ya con 12 compartimientos compresores el período del almacenaje dura 15° (casi).

Pues construyendo 2 foros enteramente iguales, y fijándolos al cilindro-

1ª (Frente á la pág. 580)

## POSICION DEL FORO CUANDO UNA CELDA ACABA SU ALMACENAJE.




Resistencia = −2330

Celda M = 32
Celda N = 97
Celda O = 172 } = + 836 Auxilio
Celda P = 244
Celda Q = 291

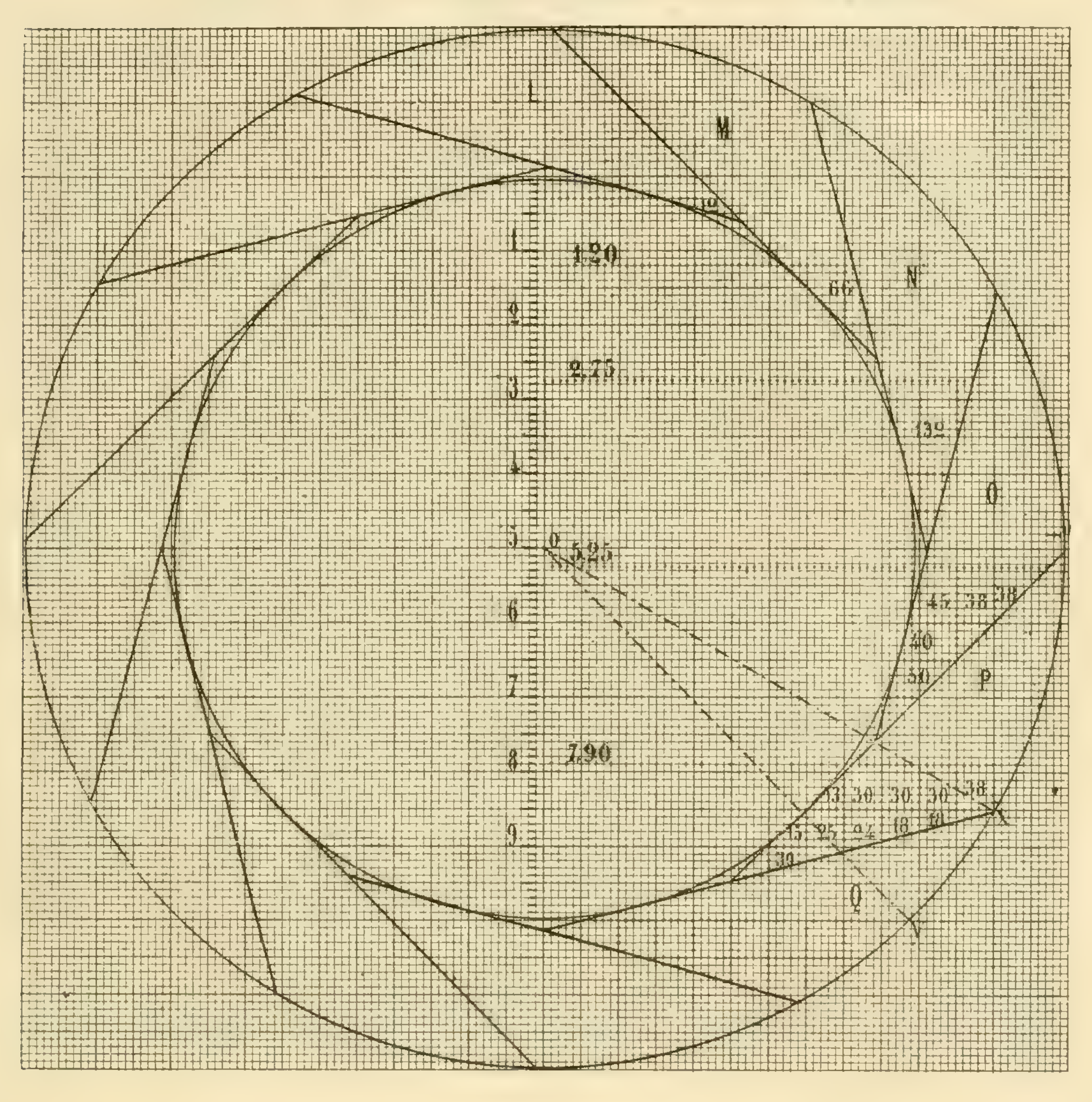
−1494 Resistencia final.

Lámina siguiente; Resistencia máxima = 1638
Lámina presente, Resistencia mínima = 1494

Palpitacion = 244

836 : 2330 :: 35,87 : 100

## POSICION DEL FORO CUANDO UNA CELDA EMPIEZA SU ALMACENAJE.




Resistencia = − 2330

| | | |
|---|---|---|
| Celda L = 12 | | |
| Celda M = 66 | | |
| Celda N = 132 | = + 692 Auxilio | |
| Celda O = 211 | | |
| Celda P = 271 | | |
| Celda Q = 000 | | |
| | − 1638 Resistencia final. | |

Ángulo yox = 15º (próximamente)

Luego el almacenaje dura cerca de 15º

692 : 2330 :: 29,70 : 100

eje, de tal modo que los tabiques de sus celdas se crucen simétricamente en la proyeccion vertical, nunca será intermitente el almacenaje, y habremos conseguido ¡lo que durante mucho tiempo me pareció un casi imposible dada la ley de MARIOTTE! el gran *desideratum* de la mecánica; UNA RESISTENCIA INVARIABLE.

Desaparecen, pues, los invencibles, ó por lo ménos, gigantescos inconvenientes de las compresiones en el sistema monocilíndrico; y, sin recurrir á engranajes, siempre complicados y de grandes resistencias pasivas, sin órganos delicados, sin esmeradas superficies, sin rozamientos casi, sin trepidaciones violentas, con suavidad y lentitud, sin temor á la ley de GAY-LUSSAC...., nos es ya dado, por solas las fuerzas de la gravedad, y la economía especial del procedimiento condensador, conseguir, con foros celulares, que la Resistencia resulte, no ya un plano suavísimamente inclinado, sino una CANTIDAD CONSTANTE Y UNIFORME.

Principio, á mi entender, nuevo en Pneumo-dinámica.

# CAPITULO VIII.

## CONJUGACION DE LOS FOROS CELULARES.

---

### I.

Naturalmente ocurre insistir en la pregunta tantas veces formulada:

¿Y la LEY LOGARÍTMICA?

¿No podremos esperar que, en virtud de un adecuado procedimiento, ó en virtud de formas convenientes, ó acaso en virtud de ambas cosas á la vez, se ajusten los foros celulares á la superioridad de una ley logarítmica, ya que solo ella sabe triunfar con brillantez de los inconvenientes de la ley de MARIOTTE?

Si (segun las conclusiones expuestas, pág. 547) con foros simples ó helicoidales sucesivos se mejora la ley logarítmica de los cilindros por escalones (descritos á las pág. 401 á 405), ¿qué no nos será permitido presumir de la conjugacion de los foros celulares, toda vez que en estos es la Resistencia una cantidad constante, y, además, está favorecida la Potencia con el valioso auxilio de las masas líquidas que penetran en las celdas compresoras á medida que se verifica la condensacion? ¿Cuál no será la superioridad de estos aparatos, si no hay que pensar para ellos en la creacion de atmósferas artificiales que los circunden, sino sencillamente en la alimentacion sucesiva de los unos por los otros?

Hé aquí por qué tengo dicho que considero á los foros celulares conjugados como el aparato compresor por excelencia. Y, tanto más, cuanto que, como se verá en el inmediato capítulo IX, no hay necesidad de válvulas para la compresion. Pero no anticipemos lo que necesita de explanacion bastante ámplia.

Vislumbrada ya la superioridad de la conjugacion de los foros celulares, en que, sin convulsiones ni sacudidas tumultuosas del líquido compresor, se verifican la condensacion y el almacenaje por las solas fuerzas de la gravedad, que hacen ascender los fluidos ménos densos y descender los más pesados, pasemos ya á exponer el método que debe seguirse para realizar los beneficios de esa conjugacion.

### II.

Escogido como foro primordial aquel que pueda producir á la densidad apetecida todo el aire comprimido que nos sea menester, formaremos haces de

foros, conforme á lo expuesto en el cap. IV, pág. 524, solo que, en vez de suponer á los foros funcionando en atmósferas artificiales, alimentaremos directamente á cada uno con el aire comprimido por su inmediato anterior. Ya veremos el CÓMO en el capítulo inmediato.

Así, pues, si el foro primordial $A$ se alimenta de aire tomado directamente de la atmósfera que nos rodea, lo depositará, por ejemplo, comprimido á 2 atmósferas en el almacen primero de condensacion, donde entrará reducido á la mitad de volúmen.

El primer foro del primer haz, debe, por tanto, ser $= \frac{1}{2} A$. Y, alimentado este foro $\left(\text{que debe considerarse como intercalar entre } A \text{ y } \frac{A}{3}\right)$ con ese aire á $2^{atm}$ de densidad, lo depositará recondensado á $3^{atm}$, en el segundo almacen del cilindro-eje.

El segundo foro del primer haz tiene que ser $\frac{A}{3}$. Y, alimentado este foro con el aire recondensado á $3^{atm}$, lo introducirá percondensado á $4^{atm}$ en el tercer almacen del eje; etc., etc.

III.

Ahora bien: si con la conjugacion de los foros simples y helicoidales de movimiento circular alternativo, obtuvimos ya, teóricamente y en general, una respetable mejora sobre la ley logarítmica correspondiente á la compresion por escalones; si, en principio, esperábamos mejorar esa mejora conjugando los foros celulares, ¿no es ya de perfectísima evidencia que ninguna dificultad séria se opone á la realizacion de esta esperanza?

En efecto:

La conjugacion de los foros celulares conserva el poderoso auxilio de las masas líquidas que penetran en las celdas compresoras, y éstas disminuyen considerablemente con su peso el peso del trapezoide donde está y reside la totalidad de la Resistencia.

IV.

Sin el auxilio de las masas líquidas que penetran en las celdas durante el proceso de la condensacion, la teoría de los foros celulares conjugados sería igual á la teoría de la conjugacion en los foros simples ó helicoidales.

Pero la importancia de las masas auxiliares introduce UNA NOTABLE MEJORA EN LA MEJORA DE LA LEY logarítmica por escalones.

De consiguiente, el estudio de la conjugacion de las masas auxiliares constituye la teoría de la conjugacion en el sistema celular.

## V.

Condensemos aire á $2^{atm}$, no con un foro, como hasta aquí, sino con un haz.

Sea de 2 foros celulares este haz, y tales que, conjugados, produzcan á dicha tension de $2^{atm}$ la misma cantidad de aire que el foro celular tomado como tipo á la pág. 566.

Este foro-tipo tenia:

$7^m$ de radio exterior del aparato;

$5^m$ de radio exterior de la galería;

$1^m$ de profundidad;

Y 6 celdas compresoras.

Su capacidad era

$\pi R^2 - k r^2$, siendo $k$ el coeficiente del exágono inscrito,

$$= 3,1416 \times 49 - 3,4641 \times 25$$

$$= 67^{m^3},34.$$

Los 2 foros conjugados que almacenen á $2^{atm}$ igual cantidad de aire, deberán tener el volúmen siguiente:

$$\text{El } 1.^{\circ} \ (\pi x^2 - k\,(2,5)^2) \times 1:$$

Y, despejando,

$5^m,3221 = R$;

$2^m,5 = r$;

$1^m =$ profundidad;

6 celdas compresoras.

Y la capacidad foral será, como antes,

$$1^m \times (\pi\,(5,3221)^2 - k\,(2,5)^2) = 67^{m^3},31.$$

El 2.° foro del haz, alimentado por el aire comprimido en el primero, deberá tener:

$5^m,3221 = R$;

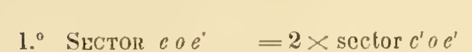
$2^m,5 \quad r$;

$\frac{2}{3} =$ profundidad.

Y su capacidad será

$$\frac{2^m}{3} \times (\pi\,(5,3221)^2 - k\,(2,5)^2) = 44^{m^3},89.$$

En el primer foro del haz, el volúmen de una celda será:



$$67^{m^3},33 \times \frac{1}{6} = 11^{m^3},22.$$

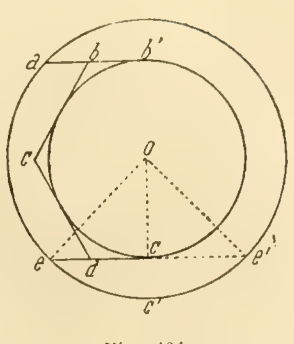



Fig. 104.

Y la resistencia será la figura $a\,b\,c\,d\,e$, cuyo cálculo da lo que sigue:

1.° SECTOR $c\,o\,e'$ $= 2 \times$ sector $c'\,o\,e'$

$$= \left(\pi\, R^2 \times \frac{\text{áng. cuyo cos. } o\,c}{360^{\circ}}\right) \times 2 \text{ (1)}$$

$$= \pi\, R^2 \times \left(\text{áng. cuyo cos. } \frac{25000}{53221}\right) \times \frac{2}{360}$$

$$= \pi\, R^2 \times \frac{\text{áng. de } 124^{\circ}}{360}$$

$$= 30{,}649.$$

2.° TRIÁNGULO $c\,o\,e'$ $= \sqrt{(5{,}3221)^2 - (2{,}5)^2} \times 2{,}5$

$= 11{,}75.$

3.° SEGMENTO $e\,c'\,e'$ $= 30{,}65 - 11{,}75 = 18{,}90.$

4.° TRAPEZOIDE $a\,b'\,c\,c$ $= \frac{1}{2}$ corona — segmento

$$= \frac{\pi\,(R^2 - r^2)}{2} - 18{,}90$$

$= 15.77.$

Y por consiguiente,

$a\,b\,c\,d\,e$ (*fig.* 103) $=$ trapezoide — 3 prismas

$= 15{,}77 \quad - \frac{1}{2}\,(r^2\,(k - \pi))$

$= 15{,}77 \quad - \frac{1}{2}\,(2{,}5)^2 \times (3{,}4641 - 3{,}1416)$

$= 15{,}77 \quad - 1.012$

Resistencia $= 14^{m^3},76.$

En el segundo foro del haz el volúmen de una celda será

$$11^{m^3},22 \times \frac{2}{3} = 7^{m^3},48.$$

Y la resistencia de este segundo foro ascenderá solamente á

$$14^{m^3},76 \times \frac{2}{3} = 9^{m^3},84.$$

---

(1) Haciendo $R = 1$, como en la Seccion V del Libro III, se pasará á la fórmula siguiente.

VI.

Calculando ahora los auxilios por el método gráfico, nos resultará para el primer foro del haz lo que expresa la primera lámina adjunta.

El segundo foro del haz se alimenta del aire préviamente condensado por el primero á $1\frac{1}{2}^{atm}$, y debe recondensar este gas hasta la tension de $2^{atm}$.

Así, pues, en la celda 0 de la segunda lámina sufre el aire interior la presion de $1\frac{1}{2}^{atm}$, procedente del gas de alimentacion, y además la de una altura del líquido compresor igual á $4\frac{1}{2}$ metros.

Está, por tanto, comprimido á $1^{atm},95$, y debe su volúmen quedar reducido á

$$11{,}22 \times \frac{100}{195} = 5{,}75;$$

Pero, como la profundidad en este segundo foro del haz es $\frac{2}{3}$ de la del primero, ocupará el aire en la celda 0 un volúmen igual á

$$5{,}75 \times \frac{3}{2} = 8^{m^3},62;$$

quedando para el agua

$$11{,}22 - 8{,}62 = 2{,}60.$$

Sin embargo, la profundidad de estas 2,60 divisiones, no es $= 1$, sino $= \frac{2}{3}$; por manera que su peso es

$$2{,}60 \times \frac{2}{3} = 1^{m^3},73.$$

Análogas consideraciones hacen que en la celda $N$ queden para el agua 0,90 divisiones, cuya eficacia auxiliadora $= 0{,}90 \times \frac{2}{3} = 0{,}60$.

El auxilio en esta 2.ª lámina solo importa $1{,}73 + 0{,}60 = 2{,}33$.

VII.

Comparemos los auxilios de este haz de 2 foros con los auxilios correspondientes al foro-tipo descrito y discutido desde la pág. 566 en adelante.

1ª (Frente á la pág. 586.)

POSICION DEL 1.ER FORO DEL HAZ EN EL MOMENTO DE CONCLUIR UNA CELDA SU ALMACENAJE.

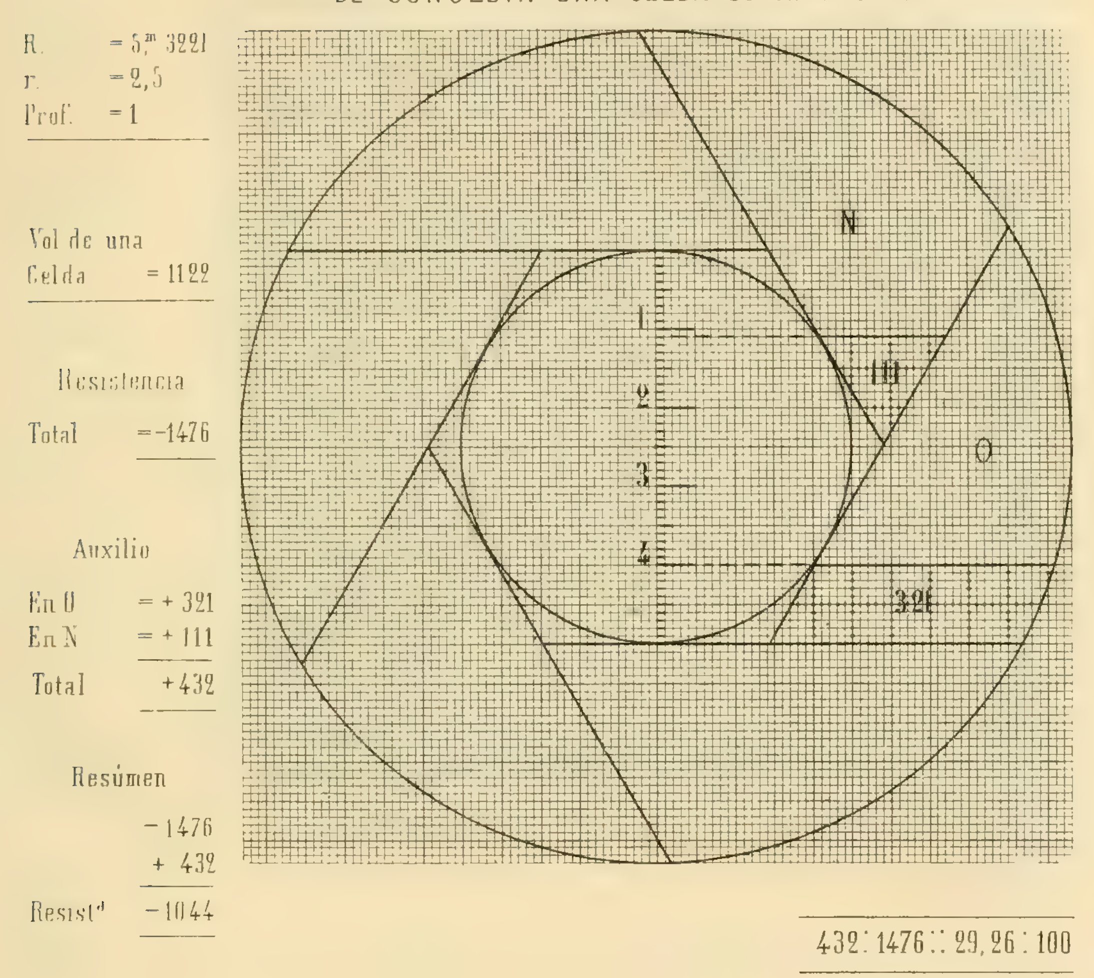
R. = 5,m 3221
r. = 2,5
Prof. = 1

Vol de una Celda = 1122

Resistencia Total = −1476

Auxilio
En O = + 321
En N = + 111
Total + 432

Resúmen
− 1476
+ 432
Resistd − 1044




432 : 1476 :: 29,26 : 100

| Foro-tipo. | | Haz de 2 foros. | | Diferencias en contra del haz. | |
|---|---|---|---|---|---|
| Resistencia<br>(Lámina frente á la pág. 571.)....... | $20^{m^3},26$ | Resistencia<br>del 1.er foro..... =<br>del 2.º foro.. ... = | $14^{m^3},76$<br>9 ,84<br>24 ,60 | Mayor peso de la resistencia........ | $4^{m^3},31$ |
| Auxilio<br>celda 0... = 4,92<br>celda $N$.. = 2,53 | 7 .45 | Auxilio<br>celda 0, 1.er foro = $3^{m^3},21$<br>celda $N$, 1.er foro = 1 ,11<br>4 .32<br>celda 0, 2.º foro.. 1.73<br>celda $N$, 2.º foro.. 0,60<br>2 .33 | 6 ,65 | Menor peso del auxilio............ | 0 ,80 |
| Resíduo..... | 12 .81 | Resíduo..... | 18 .05 | Mayor esfuerzo para el resíduo........ | 5 ,24 |
| Relacion, en peso, $\frac{745}{2026}$ = .......... | 0,3677 | Relacion, en peso, $\frac{665}{2460}$ = .............. | 0,2703 | | |

Se ve, pues, que el auxilio, aunque siempre existe, disminuye en gran manera cuando el número de foros constituye un haz;

Y tambien se ve que la resistencia aumenta en el haz respecto del foro único:

De modo que, sumándose ambos conceptos, disminuye la relacion entre la resistencia y el auxilio, tanto que en el foro-tipo de la pág. 566 el auxilio máximo es casi de 37 %, mientras que apenas pasa de 27 % en el haz de los dos foros conjugados que estamos estudiando ahora.

Y es que el auxilio aumenta mucho con la altura del líquido compresor. Para Vorstellung, imagínese que en el foro-tipo del libro anterior fuese mercurio el líquido comprimente en vez de agua del mar. ¿No es claro que si con ese foro quisiésemos almacenar el aire á $13\frac{1}{3}^{atm}$, llenaria el auxilio casi por completo las celdas compresoras inferiores, favoreciendo considerablemente la potencia?

Mientras más grandes los foros, más convienen en el sentido de reducir el máximo esfuerzo de la potencia.

Pero, siendo impracticable cierta clase de construcciones gigantescas, tenemos en la conjugacion de los foros logarítmico-celulares un seguro medio de comprimir los gases mientras siguen obedientes á la ley de Mariotte, hasta darles la tension que se quiera.

Y hé aquí cómo el problema de la conjugacion celular viene á ser puramente técnico.

El tamaño de los aparatos depende, con evidencia, de la resistencia de los materiales y de la naturaleza del líquido compresor: de la forma que se adopte resultará la superficie de las planchas necesarias á la construccion; y la potencia de que el ingeniero pueda disponer limitará, á su vez, el tamaño y la forma que queramos adoptar.

El espacio que, en anchura, ocupará el conjunto de los haces, será próximamente igual á

Anchura del mayor $\times$ (por el número de haces + 1).

Esta fórmula es solo una aproximacion; porque, aunque en cada haz decrece la seccion de cada foro, el grueso de las paredes hará siempre que cada conjunto fascial iguale al grueso del foro primario, si tal vez no lo excede en algun caso.

Un ejemplo representado en la *figura* 405.

## VIII.

Los aparatos hidráulicos tienen grandes dimensiones. Esta es su parte mala, pero inevitable. La admirable rueda hidráulica Sagebien *à aubes immergentes et à niveau maintenu dans les aubes*, tiene de 9 á 10 metros de diámetro (1). La rueda-turbina Girard tiene hasta 11$^{m}$ de diámetro. El tamaño, pues, no es inconveniente atendible cuando se trata de los receptores hidráulicos.

Y, como los foros celulares conjugados tienen por objeto recoger la fuerza de las mareas oceánicas, claro es que la cuestion de espacio no merece consideracion especial, puesto que siempre ha de sobrar sitio, donde quiera que se establezca una factoría para recoger la fuerza del mar, y distribuirla, en aire comprimido, á considerables distancias.

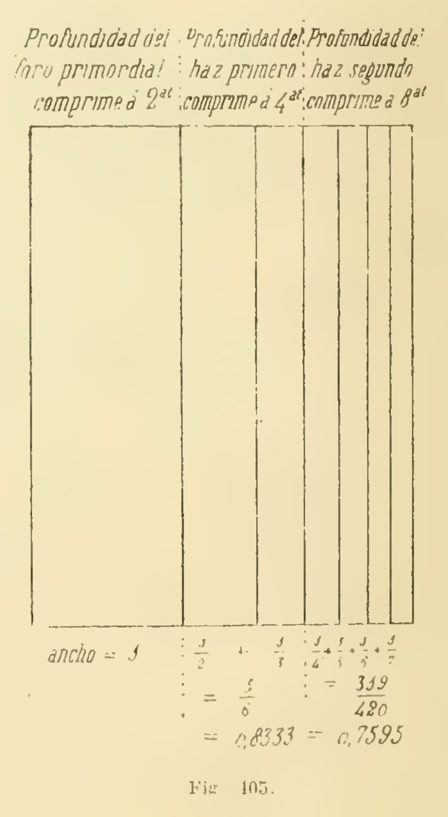



Fig. 405.

---

(1) Mr. Sagebien acaba de ser premiado por la Academia Francesa (27 Diciembre 1875) con el premio Fourneyron, que se le ha adjudicado por ser su rueda el único aparato hidráulico que aprovecha mucho más del 90 % de la fuerza motriz del agua.

No es, pues, de sorprender que yo haya presentado como tipo teórico un aparato de 14 metros de diámetro. Sin embargo, nunca pensé en presentarlo como tipo práctico. La circunstancia de equilibrar la presion atmosférica una columna de $10^m$ de agua marina, facilitaba mucho la exposicion; y, en gracia de la claridad, hube de adoptar dimensiones que, sin ser imposibles, me parecen exageradas, y sobre todo, innecesarias. Aun con la misma agua del mar podria usarse un aparato de $5^m$ de radio exterior de la galería, y solamente 6 de diámetro exterior del foro; dimensiones que solamente excederian en 40 centímetros á las de la rueda turbina de Mr. Girard (1).

## IX.

Por fortuna pueden reducirse esos tamaños, usando como líquidos comprimentes soluciones de sales abundantes y baratas.

Aunque el mercurio tuviese estas dos estimables cualidades, no sería tal vez el mejor líquido compresor para foros celulares.

Indudablemente lo mismo comprime aire un semi-anillo hidrargírico que otro hidráulico, si ambos son de igual seccion, y si la diferencia entre las superficies libres del agua es 13,6 veces mayor que la existente entre las superficies libres del mercurio. En cuanto al peso, lo mismo importa el centro de gravedad del semi-anillo hidrargírico que el centro de gravedad del semi-anillo hidráulico.

Pero la potencia aplicada al foro de mercurio para levantar la vertical de los $z$ $z'$ $z''$....., cuyo centro esté en $c$, será 13,6 veces menor que la potencia necesaria para levantar la vertical de los $z_1 z_1' z_1''$... cuyo centro esté en $C'$ del

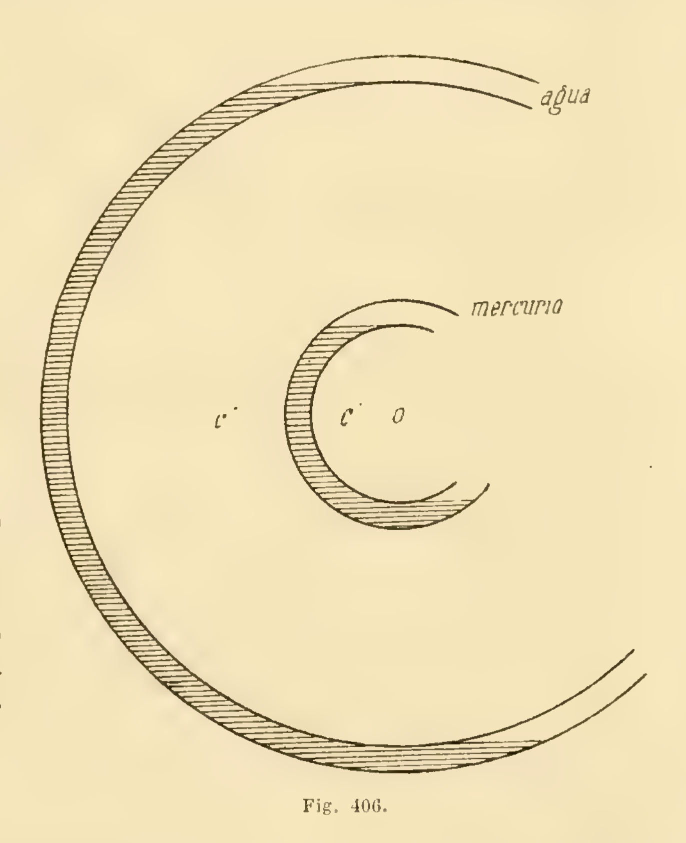


Fig. 406.

(1) Las 4 ruedas-turbinas de Saint-Maur (que es una de las oficinas hidráulicas de la *Ville de Paris*) tienen de diámetro $11^m,60$.

foro hidráulico, pues el brazo de palanca en el caso del mercurio es al brazo de palanca en el caso del agua, como la densidad de la una es á la del otro:

$$oC : oc :: 1 : 13,6.$$

Pero, para producir con el foro de azogue la misma cantidad de aire comprimido á determinada tension que produce el foro de agua, es indispensable, en absoluto, que el foro hidrargírico camine con 13,6 veces más velocidad que el foro hidráulico; porque, solo de este modo, en tiempos iguales producirá cada foro el mismo trabajo de aire comprimido á la misma densidad.

Y, siendo la lentitud condicion inexcusable en la condensacion de un gas con foros celulares, se prestaria mal á satisfacerla un metal tan denso como el hidrargírico.

Lejos, pues, en mi opinion, de ser, en todos los casos, el mercurio el líquido más ventajoso, habria de presentar inconvenientes, si para condensar grandes masas de aire hubieran de caminar con velocidad los foros hidrargíricos, facilitando así una enorme acumulacion de calor, por faltar tiempo para su disipacion irradiándose, y dando lugar á que la fuerza centrífuga perturbase la accion compresora del líquido, debida á su gravedad. El mercurio solo sería ventajoso en grandísimos foros que se moviesen con suma lentitud. Pero su ninguna baratura y su relativa escasez presentarán constantemente sérias dificultades; y de aquí el que para ciertos casos me parezcan aparatos dignos de atencion, á pesar de los inconvenientes del movimiento alternativo, los foros simples y los helicoidales, por poderse usar en ellos las semi-espirales de plomo forradas de hierro.

## X.

Caro y escaso el mercurio, poco pesada el agua del mar, no queda más recurso que el de las soluciones salinas para líquidos compresores.

Ninguna más á la mano que la solucion saturada de sal comun ó de cocina (cloruro de sodio). No ataca al hierro, abunda y es barata.

Su densidad á 15° es = 1,20433, en cuyo caso su riqueza en sal es de 26,3950°/₀.

Por consiguiente, una columna de esta solucion con $8^m,58$ de altura, puede hacer equilibrio á la presion atmosférica, permitiendo foros útiles de $4^m,27$ centímetros de radio exterior para la galería, y $5^m,50$ de radio exterior total del aparato, lo que produciria un foro igual en extremas dimensiones á la rueda-turbina Girard (1).

(1) La glicerina á 15° tiene una densidad de 1,28; es cuerpo que resiste á la congelacion; pero atrae notablemente la humedad de la atmósfera.

El cloruro de sodio, aunque poco, algo vale; mientras que en los *marais salants* del Mediterráneo, y en las salinas de Cádiz, Lisboa, etc., las aguas madres, sobrantes de la elaboracion de la sal, están constituidas principalmente por el cloruro de magnesio, y nada valen; antes bien puede decirse que tienen un valor negativo. Usando, pues, estas aguas madres, se utilizaria un líquido compresor de mayor densidad que la solucion de sal comun. Pero si, por temor á las impurezas, se quisiese hacer de cloruro de magnesio la solucion, podríamos contar con un líquido mucho más denso. El coeficiente de solubilidad del cloruro de magnesio es casi ilimitado; y cuando la solucion toma un estado como siruposo, tiene una densidad de 1,33397. Dando, pues, á la solucion un peso específico de 1,3 solamente, una columna de ménos de $8^m$ equilibraria la presion atmosférica (exactamente $7^m,946$). Podrian, por consiguiente, los foros celulares, sin pasar de las dimensionès de la rueda-turbina GIRARD, tener

$r$ = radio exterior de la galería = $3^m,98$;
$R$ = radio exterior del aparato = 5 ,50.

A la orilla del mar, siempre será fácil procurarse el cloruro de sodio y el cloruro de magnesio, y ya con estas soluciones es posible reducir considerablemente las magnitudes de los foros.

Pero hay otras sustancias en que, por su baratura y abundancia, es dado pensar.

Hállase en este caso el nitrato de sodio, que viene de América para la fabricacion del ácido sulfúrico. Su densidad á 15° alcanza á 1,3804, con una riqueza en sal de 46,25, y, por consiguiente, equilibra la atmósfera una columna de $7^m,485$.

Un foro con las dimensiones de la SAGEBIEN sería ya un buen aparato industrial:

$r$ = radio exterior de la galería = $3^m,74$;
$R$ = radio exterior del aparato = 5.

Mejor aún que esta sustancia es el cloruro de calcio, fabricable con el ácido clorhídrico, resíduo, que se tira, de la fabricacion de la soda.

La densidad del cloruro de calcio á 15° es 1,41104, con una riqueza de 40,66; y, por consiguiente, una columna de $7^m,321$ equilibra la presion atmosférica:

$r$ = radio de la galería...... = $3^m,66$;
$R$ = radio del foro.......... = 5.

Además, la solucion de cloruro de calcio no se congela á una temperatura muchos grados bajo cero. A — 10° es perfectamente fluida.

Puede pensarse tambien, aunque no es sustancia de escaso precio, en el carbonato de potasio, porque su densidad á 15° es = 1,57079, con una riqueza de

52,024. Podríamos, pues, tener preciosos foros industriales de las dimensiones siguientes:

$r$ = radio exterior de la galería = $3^m,27$;
$R$ = radio exterior del aparato = 5;

que no exceden del tamaño de las grandes ruedas Sagebien.

El sulfato de soda y el sulfato de zinc podrian constituir buenos líquidos compresores. Este último, como resíduo de la pila, nada vale, antes bien hay que pagar el que se lo lleven. La densidad de su solucion á 23° es = 1,596.

Pero, á mi entender, el líquido compresor por excelencia sería el cloruro de zinc; porque su densidad es enorme, toda vez que alcanza á 2,267 (1). Aun extendido suficientemente en agua hasta que una columna de $5^m$ equilibrase la atmósfera, podríamos tener:

$$r = 2,5;$$
$$R = 4,5,$$

tamaño comun y corriente de la rueda Sagebien.

Una solucion de doble densidad que el agua pura, parece ser todo cuanto podia desearse; y la de cloruro de zinc satisface cumplidamente á este *desideratum* (2). Además no ataca al hierro (3).

---

(1) Al disolver grandes cantidades de zinc en el ácido muriático para formar cloruro de zinc han ocurrido frecuentes explosiones, y esto sin que el aire del laboratorio se pusiese en contacto con llama ni fuego. Se ha probado que estas explosiones son espontáneas. El hidrógeno que se desprende levanta á la superficie del baño el zinc, que se hace muy poroso durante la operacion, y el metal en ese estado de fina division, como la esponja de platino en contacto con el aire y el hidrógeno, causa la inflamacion de la mezcla. Se recomienda, pues, la disolucion en vasos abiertos con preferencia á los cerrados para debilitar la fuerza de tales explosiones, si por acaso acontecen. (*Chem. Centralblatt*, y *Chemical News*, y *Sc. American*, 7 D. 1878.)

En los paises frios quizá convendria extender con glicerina el cloruro de zinc, para evitar la congelacion, pues sabemos que

| | |
|---|---|
| Una solucion acuosa de glicerina á 10 % densidad 1,024, se congela á.................... | 30,2° *F.* |
| Con 50 % densidad 1,127, á....| — 24,2° *F.* |
| Con 60 % · á.... | — 31 *Fah.* |

(*S. Am.* 268, 26 oct. 1878.)

(2) Hay líquidos de tanta ó mayor densidad que el cloruro de zinc; pero, por su precio ó por sus cualidades, no es posible pensar en ellos. Tales son entre otros, despues del mercurio, siempre utilizable, cuya densidad es de 13,6, los siguientes:

| | |
|---|---|
| Bromo.... ............... | 3, 18 |
| Terbromuro de fósforo...... | 2, 92 |
| Bromuro de silicio, á 0°..... | 2, 813 |
| Fluoruro de arsénico, á 0°... | 2, 73 |
| Acido selénico, á 15°...... . | 2, 60 |
| Percloruro de estaño........ | 2, 26 |
| Tercloruro de arsénico...... | 2, 20 |
| Ioduro de metil............ | 2, 19 |
| Cloruro de arsénico, á 0°.... | 2, 05 |
| Ioduro de etil, á 16°........ | 1, 96 |

(3) No sé hasta qué punto será práctica la idea, que me atrevo á sugerir, de formar los líquidos compresores, no con soluciones salinas, sino con líquidos muy viscosos susceptibles de contener en suspension polvos muy pesados; es decir, algo semejante á lo que pasa con la pintura de aceite de linaza y albayalde. ¿No podria usarse el albayalde suspendido en glicerina?

Claro es que en el estado de reposo la sal

## XI.

Con gran razon los ingenieros modernos están conformes en que para obtener un resultado cualquiera conviene el menor número de operaciones posible. La colocacion de pocos bloques, pero enormes, paga mejor que la colocacion de muchos pequeños sillares..... En una gran máquina los rozamientos son menores que en muchas más chicas equivalentes....., etc.

Pues bien: generalizando estas consideraciones, resultasen convenientes tal vez foros de cloruro de zinc, dilatado si se quiere hasta igualar con $5^m$ la presion atmosférica, cuyas dimensiones fuesen las siguientes:

$R = 2^m,5$:
$r = 5\ ,5$.
12 celdas con $2\frac{1}{2}^m$ de profundidad;
Otras 12 con igual profundidad, cuyas proyecciones verticales se cruzasen con las de las anteriores.

La capacidad de este enorme foro sería

$$(\pi\,(5,5)^2 - k\,(2,5)^2) \times 5$$
$$= (3,1416 \times 30,25 - 3,2152 \times 6,25) \times 5$$
$$= 374^{m^3},69.$$

Este foro, en cada rotacion de 360°, daria $187^{m^3}$ de aire á la densidad de $2^{atm}$.

$R = 5$.
$r = 6$.
12 celdas con $5^m$ de profundidad.
Otras 12 con igual profundidad, pero cuyas proyecciones verticales se cruzasen con las de las anteriores.

La capacidad de este foro sería

$$(\pi\,(6)^2 - k\,(5)^2) \times 10$$
$$= (3,1416 \times 36 - 3,2152 \times 25) \times 10$$
$$= 327^m,1.$$

Este foro, en cada rotacion de 360°, daria casi $109^{m^3}$ de aire á la tension de $3^{atm}$.

Las dimensiones de cualquiera de estos 2 foros no son para arredrar á los ingenieros actuales.

Conjugando 2 haces de foros iguales en todo al de la primera columna anterior, exceptuando las profundidades, que habian de ser

$$\text{Para el 1.}^{\text{er}}\text{ haz...}\left\{\begin{array}{l} 5^m \times \tfrac{1}{2} = 2^m,5 \\ 5^m \times \tfrac{1}{3} = 1^m,666 \end{array}\right.$$

$$\text{Y para el 2.}^{\text{o}}\text{ haz.}\left\{\begin{array}{l} 5^m \times \tfrac{1}{4} = 1^m,25 \\ 5^m \times \tfrac{1}{5} = 1 \\ 5^m \times \tfrac{1}{6} = 0^m,8333 \\ 5^m \times \tfrac{1}{7} = 0^m,7143 \end{array}\right.$$

---

de plomo se depositaria en la parte baja de los foros; pero, estando estos en contínuo movimiento, la agitacion distribuiria al cabo de muy poco tiempo el albayalde por igual en la masa líquida, constituyendo la mezcla un líquido compresor de considerable densidad. Evidente es que esta idea no se concreta á la mezcla de glicerina y albayalde, sino que se extiende á la adopcion de cualquier líquido viscoso que pueda contener en suspension polvos de cuerpos muy pesados.

podríamos condensar por cada rotacion (si estaban conjugados en un mismo y solo eje comun) 374 metros cúbicos (tomados al aire libre á la densidad normal de la atmósfera ambiente), hasta reducirlos á la tension de $8^{atm}$, ó sean $46{,}75^{m^3}$ á $8^{atm}$ de densidad.

Y conjugando con el foro de la segunda columna anterior otros 3 foros iguales, excepto las profundidades, que habian de ser

$$10^m \times \tfrac{1}{3} = 3^m{,}333$$
$$10^m \times \tfrac{1}{5} = 2^m$$
$$10^m \times \tfrac{1}{7} = 1^m{,}4285$$

podríamos obtener á la densidad de $9^{atm}$, los $327^{m^3}$ tomadas al aire libre, en cada rotacion de estos 4 foros conjugados, es decir, $36^{m^3}{,}22$; á $9^{atm}$ de densidad.

Reducidos de este modo los volúmenes primitivos del aire atmosférico podrán ya económicamente usarse para continuar las percondensaciones á mayor número de atmósferas, foros celulares cuyo líquido compresor fuese el mercurio; ó bien mercurio y agua.

XII.

Se ve, pues, que son correlativas las cuestiones de capacidad y líquido compresor.

No pasa esto con las referentes á la relacion que deba existir entre el radio del foro y su profundidad.

El problema puede plantearse en una disyuntiva. A igualdad de volúmenes, ¿qué importa más —dar mucha profundidad y poca anchura á los foros,—ó mucha anchura y poca profundidad?

Pongamos un ejemplo; y, para mayor sencillez, sea de foros simples.

Supongamos de igual capacidad los 2 foros siguientes:

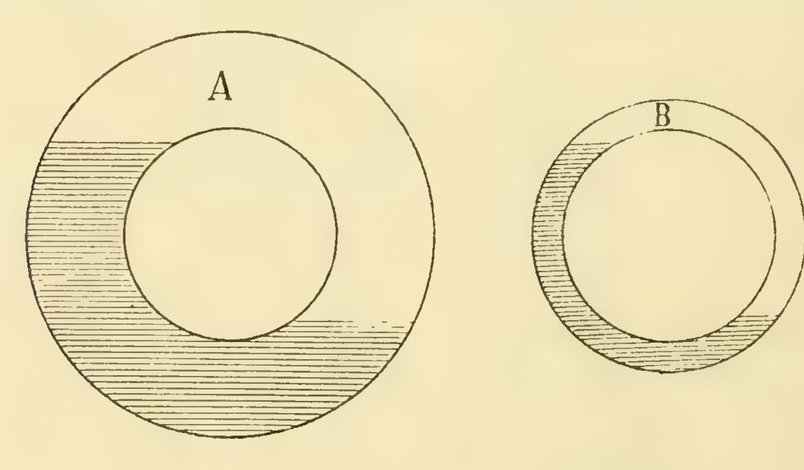



Fig. 107. Fig. 108.

Es óbvio que el foro *B* debe tener grandísima profundidad para igualar en volúmen al foro de más anchura *A*.

Sea en ambos foros igual el radio exterior de la galería y de 100 centímetros de longitud;

Sea de $173^c,5$ el radio exterior del aparato *A;*

Y sea de $101^c$ el radio exterior de *B;*

La anchura, pues, ó la corona de *B*, es de un solo centímetro, y de $73^c,5$ la de *A*.

Si suponemos de $10^c$ la profundidad de *A*, tendrá que ser nada ménos que de $10^m$ la *B,* para que sean iguales las capacidades de ambos foros.

En efecto:

$$\text{Volúmen de } A = \pi\,(173{,}5^2 - 100^2) \times 10 = 631 \text{ decímetros cúbicos;}$$
$$\text{Volúmen de } B = \pi\,(101^2 - 100^2) \times 1000 = 631 \text{ decímetros cúbicos.}$$

Haciendo, pues, foros muy prolongados, se gastaria más material en sus envolturas metálicas.

Y este mayor gasto no produciria beneficio ninguno, porque la potencia necesaria á mover cualquiera de los 2 foros sería la misma, é igual á

$$P \times 0^m,32,$$

siendo *P* el peso de un semi-anillo del líquido compresor.

Las cantidades de palastro para estos foros serían:

$A =$ parte interior cilíndrica.................. $= \pi \times 200 \times 10$
$+$ parte extèrior cilíndrica................ $= \pi \times 347 \times 10$
$+$ coronas anterior y posterior........... $= \pi\,(173{,}5^2 - 100^2) \times 2$
De donde $A = 14^{m^2},27$.

$B =$ parte interior cilíndrica.................. $= \pi \times 200 \times 1000$
$+$ parte exterior cilíndrica................ $= \pi \times 202 \times 1000$
$+$ coronas anterior y posterior........... $= \pi \times (101^2 - 100^2) \times 2$
De donde $B = 126^{m^2},35$.

De hacer foros de ánulos ó coronas anchas y poca profundidad relativa, á hacerlos muy prolongados y de exagerada profundidad, van considerables diferencias en material y peso, que, en el extravagante caso presentado como ejemplo, resultan en la enorme razon

$$:: 1 : 9 \text{ próximamente.}$$

¿Qué ingeniero consentiria en gastar 9 veces más material, y en cargar los ejes de sus aparatos con 9 veces más peso del necesario?

## XIII.

Puede aminorarse el número de los foros conjugados, reduciendo no solo la profundidad en los haces percondensadores, sino angostando más y más la corona, sin disminuir el diámetro exterior del aparato, sino alargando el radio de la circunferencia exterior de la galería.

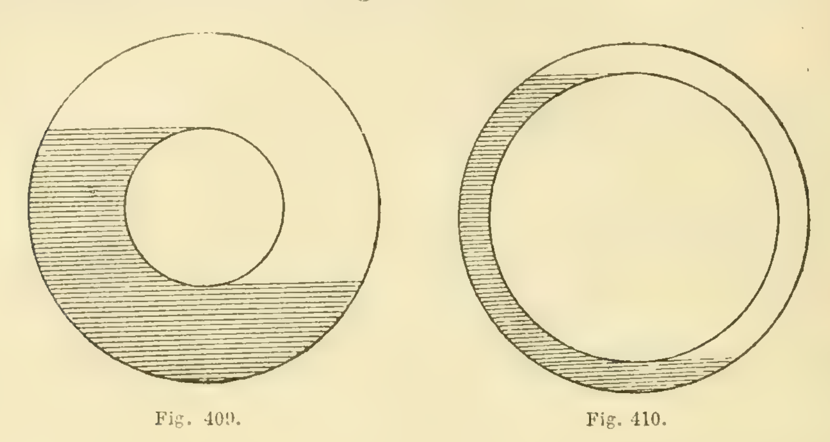


Fig. 409. Fig. 410.

De este modo crecerá la altura de niveles «en los foros de menor capacidad,» y á la condensacion final podrá llegarse con menor número de foros.

Por último, es dable combinar estos recursos de la forma, con los que presenta la densidad: de manera que el foro primordial podria condensar el gas con una solucion muy barata; el haz siguiente con una más pesada, aunque fuese más cara....., y así progresivamente hasta que el último foro condensase con una ya delgada columna de mercurio.

## XIV.

La conjugacion logarítmica de los foros celulares puede calcularse *grosso modo* por las fórmulas correspondientes á los foros simples, destinando la potencia de las masas auxiliares á la anulacion de las resistencias pasivas. A mi entender, el auxilio hidráulico es más que suficiente en todo caso á vencer los rozamientos. Y esto evidentemente y sin necesidad de calcularlo.

De este modo nos queda la potencia de que podamos disponer, libre de todas las resistencias propias y exclusivas de la condensacion foral, sin tener que deducir cantidad ninguna por otros conceptos.

Y, como las fórmulas de la conjugacion de los foros simples nos dan mejorada la ley logarítmica, pág. 569 (calculada por aquel entonces en la region puramente teórica, sin contar con los rozamientos ni demás resistencias pasivas), resulta que con los foros celulares, y solo con ellos, es real y efectiva la mejora, y un hecho la ley logarítmica, no en los momentos finales, sino durante todo el proceso de la condensacion, cuya resistencia es una cantidad constante, apenas sujeta á palpitaciones en su intensidad.

# APÉNDICE AL CAPÍTULO VIII.

## I.

En pocas construcciones aparecerá más justificada que en las de los foros celulares la tendencia de los modernos ingenieros á efectuar los trabajos en el número de operaciones menor posible.

Recordemos el foro-tipo de la pág. 566, en que

$r = 5^m$
$R = 7^m$
Prof. = 1
Volúmen de aire = $67^{m^3}$;

Supongamos ahora que con un haz de 2 foros hayamos de producir la misma cantidad de aire comprimido á $2^{at}$, y que las dimensiones sean

1.er foro.
$r = 2^m,5$
$R = 5^m,3221$
Prof. = 1
Volúmen de aire $67^{m^3}$ (para ser condensados á $1\frac{1}{2}^{at}$).

2.º foro...
$r = 2^m.5$
$R = 5^m.3221$
Prof. = $\frac{2}{3}$
Vol. = $45^{m^3}$ (para recondensar hasta $2^{at}$).

## II.

Dadas estas dimensiones, se ve que para producir la misma cantidad de aire á la misma tension, el haz necesitaria doble número de planchas para las coronas (1), y que solamente no llegaria al doble el total de las planchas de palastro necesarias para los tabiques y los cilindros exteriores del aparato é interiores de la galería. La mano de obra sería tambien doble, etc.

Puede, pues, decirse que la instalacion costará doble, triple, cuádruple..... (casi), haciendo con un haz de 2, de 3, de 4 foros..... lo que pueda hacerse con un solo aparato.

## III.

Pero, aparte del mayor costo inicial, pudiera pensarse que el exceso quedaria embebido en los ahorros de fuerza motriz si llegara á efectuarse el trabajo de aire comprimido con un excesivo número de foros celulares. 10, 20, ó más.

Este me parece punto que ha de hacer ver mejor el objeto de los foros: reparticion buena y uniforme de los desiguales esfuerzos que en el sistema monocilíndrico entraña la ley de Mariotte.

(1) Ya veremos que las válvulas pueden suprimirse en los compresores.

# IV.

Escogiendo líquidos muy pesados, no sería por cierto impracticable comprimir en un solo foro una masa de aire hasta la densidad de $4^{at}$: con mercurio sería esto muy fácil.

Pero, por lo fácil que es hacer los cálculos tomando por líquido compresor el agua marina, concédasenos, teóricamente, que vamos á comprimir aire hasta la densidad de $4^{at}$ en un foro capaz de una diferencia de niveles igual á $30^{m}$, y que, por otro lado, queremos efectuar el mismo trabajo con 30 foros sucesivos, capaz cada uno de $1^{m}$ de desnivel.

# V.

Represente el colosal rectángulo *A B C D* una columna de agua marina de $30^{m}$ de altura. (Véase la lámina adjunta.)

Represente la superficie escalonada otra columna de $30^{m}$.

Tengan ambas la misma base, de $10^{m}$ de anchura por 1 de profundidad.

Con la columna rectangular, lo mismo que con la escalonada, podemos comprimir aire á $4^{at}$, contando con el auxilio atmosférico.

Pero la columna rectangular necesita, para llenarse, $300^{m^3}$ de agua del mar, que hacen más de 300 toneladas, mientras la columna escalonada necesita ménos de la mitad. La parte vacía *A o p q* es casi igual á la parte llena *r s D C* (∷ 7073 : 7192), y es evidente que el vacío *q p r t* es mucho mayor que el espacio lleno *p x r s*.

Estudiemos la curva.

Y sea cada escalon el desnivel de $1^{m}$, de que es capaz cada uno de los 30 foros fasciales.

Cada foro se alimenta del aire condensado por el anterior, y la altura sobre la base horizontal representa en metros la presion que cada aparato transmite al que le sigue inmediatamente.

El primer foro comprime aire á $1{,}1^{at}$: en él no puede haber ahorro de líquido compresor.

Pero el segundo foro no puede tener más capacidad que la de $\frac{10}{11}$ de la del primero; por manera que este segundo aparato verifica su compresion con $\frac{1}{11}$ avo ménos de agua que el primero.

Luego nos ahorramos $\frac{1}{11}$ = 0,091

La conjugacion de los 2 foros, 1.° y 2.°, produce una compresion de $1^{at},2$; de donde el 3.er foro es $\frac{10}{12}$ del primero, y, por consiguiente, se ahorran $\frac{2}{12}$ avos del líquido que el primero necesita = 0,167

La conjugacion de los 3 primeros foros produce el aire á la tension de $1^{at},3$; por lo que, habiendo de ser el 4.° foro $\frac{10}{13}$ del primero, nos ahorramos en líquido para la compresion $\frac{3}{13}$ = 0,230

Y, así sucesivamente, el ahorro se obtendrá agregando una unidad al numerador y otra al denominador en la série de quebrados expresivos de las presiones................ $\frac{4}{14}$ = 0,285

Foro 6.°...... $\frac{5}{15}$ = 0,333

Foro 7.°...... $\frac{6}{16}$ = 0,375

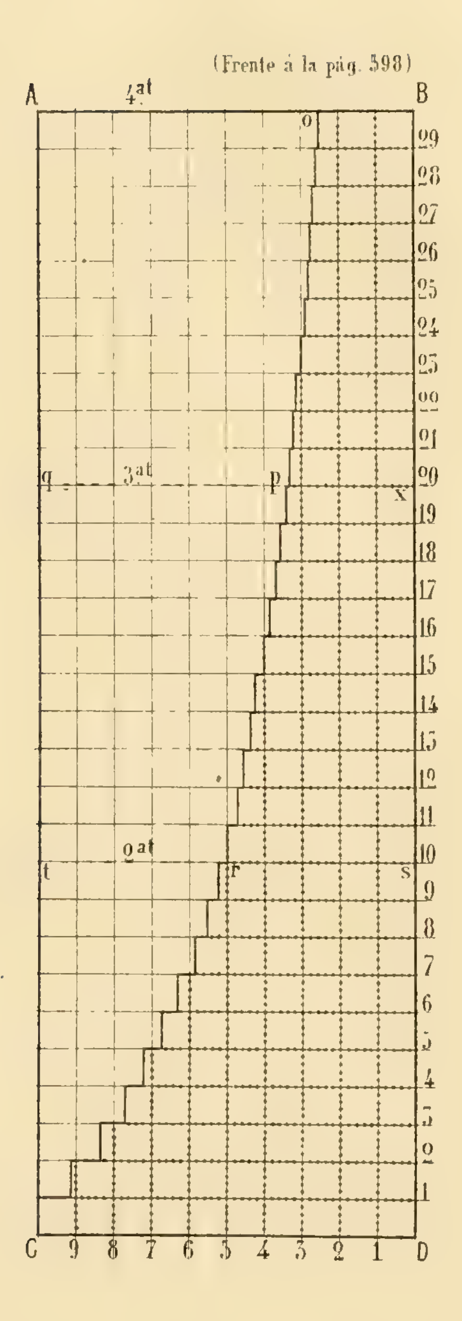
Foro 8.°...... $\frac{7}{17}$ = 0,410

Foro 9.°...... $\frac{8}{18}$ = 0,444

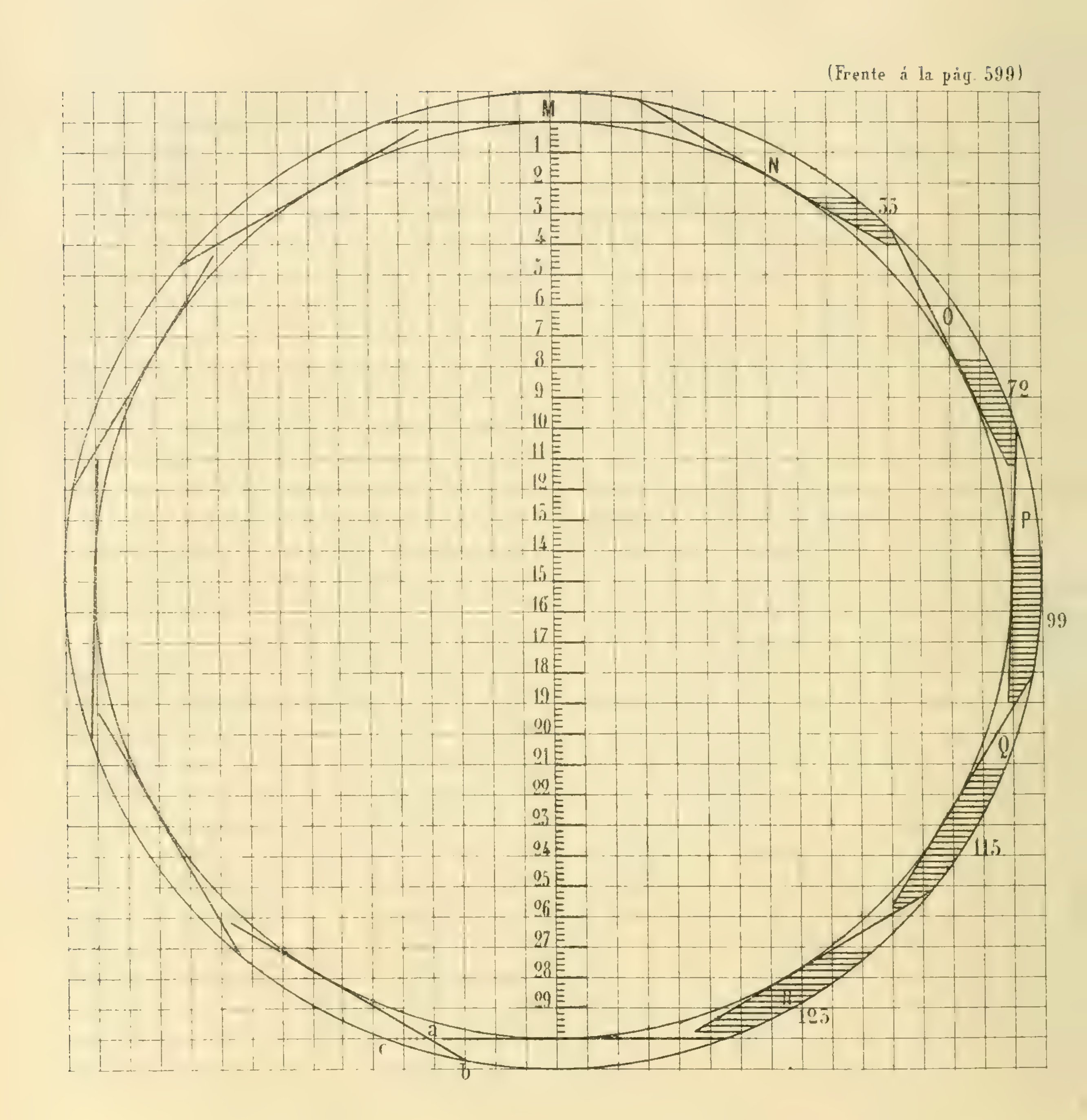
Foro 10.°...... $\frac{9}{19}$ = 0,473

Los 10 primeros foros ahorran....... 2,808

(Frente á la pág. 598)



(Frente á la pág. 599)



Los 10 siguientes:

| | | |
|---|---|---|
| Foro 11; | $\frac{10}{20}$ = | 0,500 |
| 12; | $\frac{11}{21}$ = | 0,523 |
| 13; | $\frac{12}{22}$ = | 0,544 |
| 14; | $\frac{13}{23}$ = | 0,564 |
| 15; | $\frac{14}{24}$ = | 0,582 |
| 16; | $\frac{15}{25}$ = | 0,600 |
| 17; | $\frac{16}{26}$ = | 0,614 |
| 18; | $\frac{17}{27}$ = | 0,629 |
| 19; | $\frac{18}{28}$ = | 0,643 |
| 20; | $\frac{19}{29}$ = | 0,655 |
| | | 5,854 |

Los 10 últimos:

| | | |
|---|---|---|
| Foro 21; | $\frac{20}{30}$ = | 0,666 |
| 22; | $\frac{21}{31}$ = | 0,676 |
| 23; | $\frac{22}{32}$ = | 0,686 |
| 24; | $\frac{23}{33}$ = | 0,697 |
| 25; | $\frac{24}{34}$ = | 0,706 |
| 26; | $\frac{25}{35}$ = | 0,715 |
| 27; | $\frac{26}{36}$ = | 0,722 |
| 28; | $\frac{27}{37}$ = | 0,729 |
| 29; | $\frac{28}{38}$ = | 0,736 |
| 30; | $\frac{29}{39}$ = | 0,742 |
| | | 7,075 |

| | |
|---|---|
| El ahorro total es | 2,808 |
| | 5,854 |
| | 7,075 |
| | 15,737 |

15,737 del agua que necesita el foro primario $= 15{,}737 \times 10^{m^3} = 157{,}370$; lo que hace más de la mitad de los $300^{m^3}$ que necesitaria la columna cuadrangular $A\,B\,C\,D$ (1).

## VI.

Vemos, pues, que la resistencia pierde mucho cuando se multiplica el número de aparatos.

Consideremos ahora lo que favorecen á la potencia en el foro único las masas auxiliares.

Por el método gráfico, y en una primera aproximacion, resulta, segun aparece inspeccionando la adjunta lámina, para el foro único:

Resistencia = 5 celdas — $a\,b\,c$
= 168 × 5 — 20
= 820............ 820

| | |
|---|---|
| Auxilio: en $N$ = | 33 |
| en $O$ = | 72 |
| en $P$ = | 99 |
| en $Q$ = | 115 |
| en $R$ = | 123 |
| | 442, más de la mitad de 820. |

## VII.

Resulta, pues, que agrandando el diámetro de un foro único, acrecemos el brazo de palanca de la resistencia, pero aumentamos considerablemente las masas auxiliares;

Y, multiplicando los foros conjugados de cortos diámetros, disminuimos la resistencia, pero hacemos menguar la importancia de las respectivas masas auxiliares.

(1) Con la imaginacion puede continuarse la curva, y concebirse lo que se ahorraria de agua; y, por consiguiente, de peso que mover entre $30^m$ y $40^m$; $40^m$ y $50^m$, etc.

Hay, pues, en todo caso perfecta compensacion. Lo cual, aun cuando no descendamos al pormenor de los cálculos, hay que admitir desde luego por virtud de las ideas generales fundamento de la mecánica.

A la verdad, siempre hay auxilio cuando son muchos los foros, lo mismo que en el caso del gigantesco foro único; pero decrecen tanto estas masas auxiliares con el aumento de los aparatos, que, al fin, se hace insignificante lo que favorecen la potencia.

## VIII.

No habiendo ventaja en acrecentar sin razon el número de los haces, porque lo que se disminuye en resistencia se pierde en masas auxiliares (1), resulta claro que, mientras ménos foros se empleen en una condensacion, mayor será el ahorro en material y mano de obra.

Las compresiones, como *desideratum*, deben efectuarse con el mayor foro celular posible; y, como recurso, con el artificio de la conjugacion logarítmica de foros celulares para llegar á cualquier clase de tension, por elevada que sea.

## IX.

La penúltima lámina nos hace patente que, de cierto, va grandísima diferencia, en el conjunto de las resistencias, de haber muchos foros intercalares á no haberlos, mientras se pasa de $1^{at}$ á 3, y más especialmente cuando se pasa de 1 á 2.

Pero bien se ve en la misma lámina, que luego no merece la pena aumentar el número de foros para ahorrar cantidades de agua, relativamente insignificantes.

Aun cuando no se perdiese nada en auxilio por el aumento de los aparatos, salta á la vista que en pasando de $4^{at}$, mientras ménos foros intercalares, tanto mejor.

De donde surge la conveniencia, para el caso de convenir la produccion de tensiones elevadísimas, de efectuar con soluciones salinas la condensacion hasta 6 ú 8 atmósferas, y desde estas tensiones en adelante recurrir al mercurio para seguir la percondensacion. ¿Cómo no ha de compensar el ahorro de foros, y aun de haces, el gran coste del líquido metálico?

## X.

En resúmen: pocos foros y muy grandes, en cuanto lo permitan la resistencia de los materiales y los motores de que podamos disponer, por ser considerables las ventajas inherentes á las grandes dimensiones y muchas las dificultades y complicaciones que les es dado eludir.

Y, como hay posibilidad de evitar el empleo de las válvulas y de toda clase de organismos delicados (segun vamos á ver en el capítulo inmediato), las ventajas de las grandes dimensiones exceden naturalmente á toda ponderacion por su extraordinaria sencillez.

---

(1) Téngase en cuenta que este solo dato no basta: hay siempre que calcular los centros de gravedad y los brazos de palanca.

# CAPÍTULO IX.

## COMPRESION SIN VÁLVULAS.

### I.

Al finalizar la pág. 441, manifesté que mas adelante responderia á las preguntas allí formuladas acerca de los medios adecuados para utilizar el sistema de la inmersion.

Los conocimientos adquiridos en los últimos capítulos eran indispensables, absolutamente, para la contestacion debida, por haber de fundarse sobre ellos lo que resta decir y saber sobre el sistema de capacidades inmergentes.

### II.

Es un desideratum de la industria el prescindir de toda clase de válvulas. Son órganos de ejecucion esmerada, caros por consiguiente, sujetos á fácil deterioro, propensos á averías, de inspeccion difícil, de reemplazo molestísimo si hay que desmontar piezas importantes de las máquinas, y más aún en aparatos sumergidos (1). Además, perturban las condiciones económicas del trabajo y de la produccion, haciendo que la máquina esté parada, mientras se compone la avería, ó se reemplaza el órgano deteriorado. Con razon se dice que las válvulas son el OPROBIO DE LA INDUSTRIA.

---

(1) La dificultad de buenas válvulas ha creado la necesidad de especialistas para su construccion.

Por de pronto hacen indispensable la preparacion de un material exclusivo y adecuado, por ejemplo, el cuero *water proof*, á prueba de agua *(S. Am.* 23 *F.* 1878*)* ó el metal poco dilatable, compuesto de 20 partes en peso de cobre, 3 de zinc y 3 de estaño. En América han adquirido gran fama las válvulas de la *Crosby Steam Gauge and Valve Company*, de Nueva-York. Las de CHAPMAN, Boston, se han recomendado mucho en estos últimos años: el asiento es del metal BABITT; se prueban á la presion de 20 atmósferas, y la fábrica las garantiza por un año, si la presion no pasa durante él de 10 atmósferas.

Las válvulas y pistones son tan de evitar en los barcos que, á pesar de que el trabajo de los aparatos de achicar construidos segun los principios del inyector GIFFARD, cuestan de 10 á 15 veces más que el trabajo por la *donkey-pump*, ó por la ordinaria *bilge-pump* (bomba de achique) movida por la máquina del barco, se prefieren, sin embargo, aquellos más costosos eyectores, por la seguridad de su accion en un incendio, en un naufragio.....; pues, donde quiera que hay válvulas, nunca se tiene seguridad de que en el momento crítico estén listas para funcionar *(in working order)*

Los foros, así los simples como los helicoidales, y los celulares hasta ahora estudiados, exigen multitud de válvulas interiores.....

¿No pudiéramos prescindir por completo de todas ellas?

Esta pregunta parece una demencia. Y, sin embargo, es lícito responder: Sí.

¿Cómo?

Dando á los celulares una forma especial.

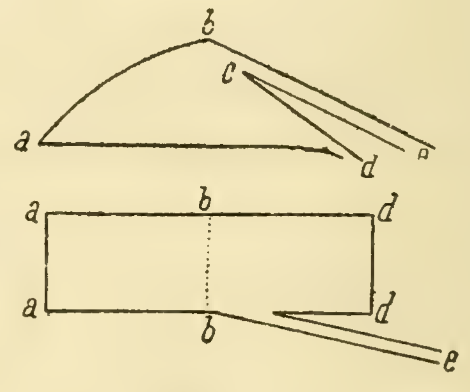
## III.

Sea (*fig.* 411) un foro celular de 12 secciones, como los estudiados hasta aquí; pero sin galería, y con los tubos laterales *bc*, *bc*..... que marcan las siguientes *figuras* 412 *y* 413.



Fig. 411.

Llamaré branquias á estos tubos laterales, por desempeñar funciones análogas á las de los órganos de la respiracion en ciertos animales que viven en el agua, como los peces y los crustáceos.




Figs. 412 y 413.

Cada celda aislada resulta como al márgen. Es, pues, un recipiente *abd*, con dos entradas ó aberturas rectangulares, *d* y *e:* la *d* de gran extension, por ser de toda la profundidad del foro ó poco ménos: la *e* mucho menor, por ser la correspondiente á la seccion de la bran-

quia, que esencialmente es un tubo *be* inclinado respecto de la pared foral *abd*.

En ninguno de estos tubos (ó branquias) habrá fondos ni válvulas de ninguna clase, sino que cada uno estará abierto completamente por sus dos extremidades.

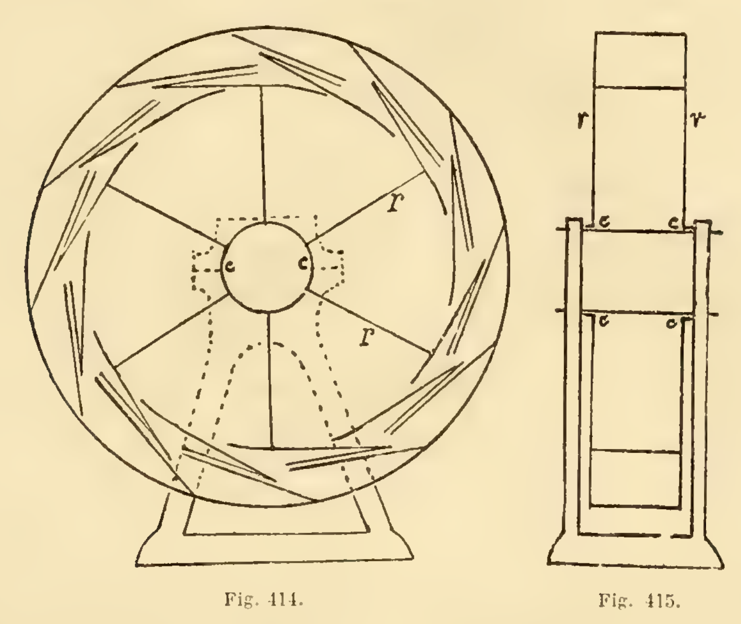



Fig. 414. Fig. 415.

Doce rayos *r*, *r*..... sostienen el foro; seis situados por la parte anterior y seis por la posterior. Estos rayos, hácia el centro, están asegurados á dos aros *cc*, uno anterior y otro posterior. Queda, pues, libre el espacio interior á estos rayos *r*, *r* y *r′ r′*.....

El lector imaginará las branquias de la segunda proyeccion (*fig.* 415).

El foro está suspendido por los dos aros *c c* (anterior y posterior) en un eje fijo á los soportes é inmóvil por consiguiente: de modo que el foro girará como la rueda de un carro al rededor de su eje (relativamente inmóvil y rígidamente unido á la plataforma del carro).

Este eje es hueco, y se halla perforado por varios orificios. A él está asegurado rígidamente un almacen que en una de sus proyecciones aparecerá con forma como de globo aerostático, y en otra como un rectángulo abierto por la parte inferior (*figs.* 416 *y* 417.)

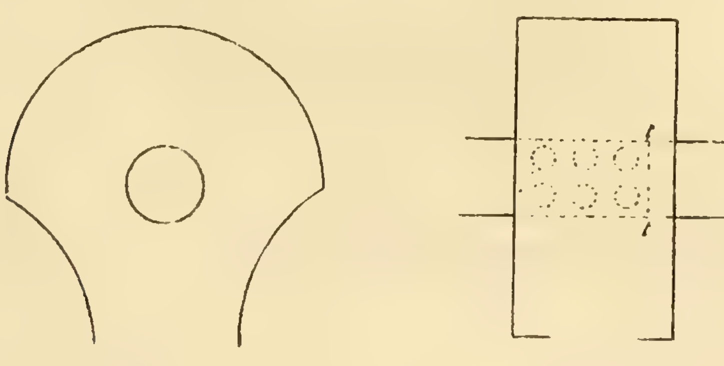


Fig. 416. Fig. 417.

Un tabique *t t* (*fig.* 417) dividirá el eje en 2 cavidades independientes. La totalidad del aparato resultará como sigue.

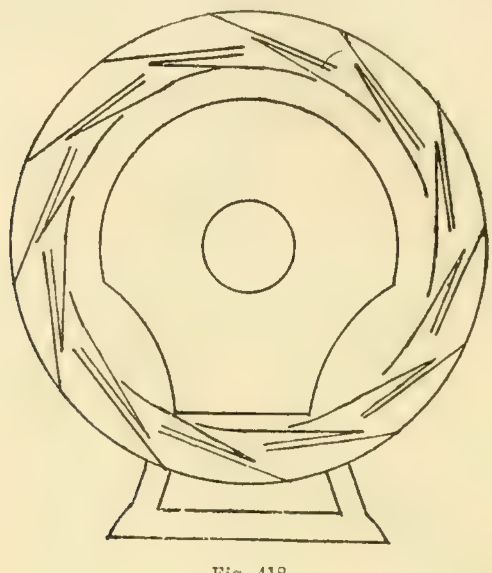


Fig. 418.

Por último, considérese al conjunto inmergido en el Océano, ó en un rio, ó en un estanque de suficiente profundidad para que el nivel libre del líquido compresor sea tangente á lo que antes era cilindro exterior de la galería.

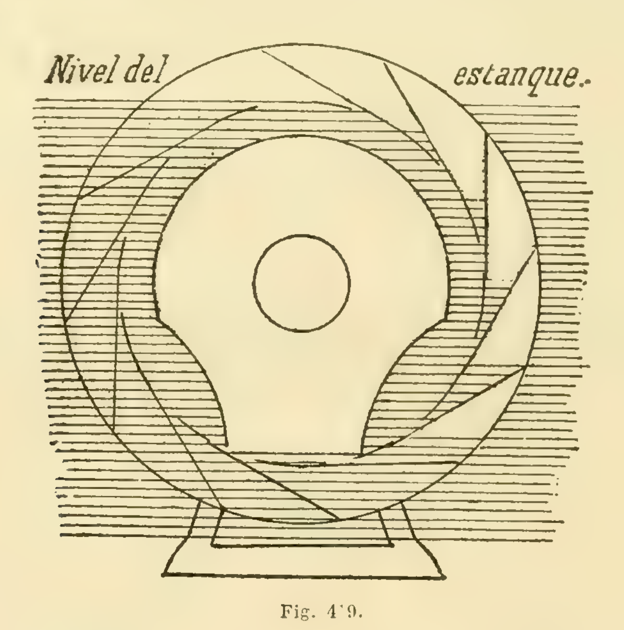



Fig. 419.

Falta en la *figura* 419 la indicacion de las branquias. Imagínelas el lector. Entendido esto, veamos el modo de funcionar.

IV.

Sea *dextrorsum* la rotacion del foro, y tal el tamaño del foro y la profundidad del líquido compresor, que el aire pueda resultar condensado á $2^{atm}$.

Analicemos la marcha de una celda.

En esta posicion la celda estará llena de líquido, que pudo entrar por cualquiera de las 2 aberturas *a* y *b*, ó, mejor dicho, que entró por ambas.

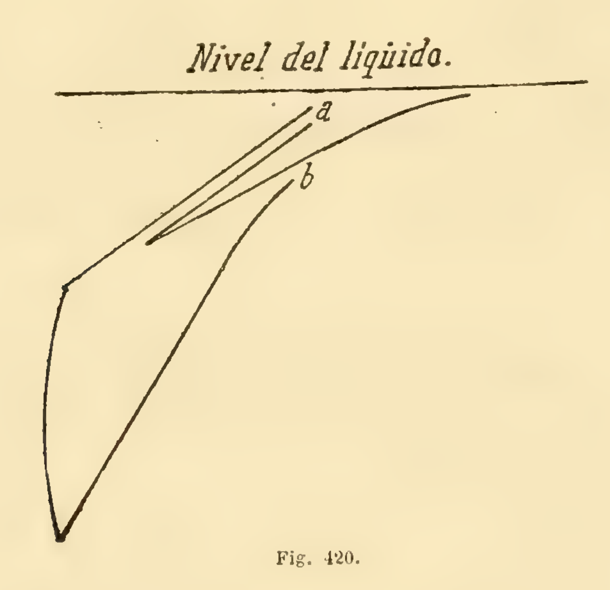



Fig. 420.

Continuando la celda su giro, llegará á esta otra posicion.

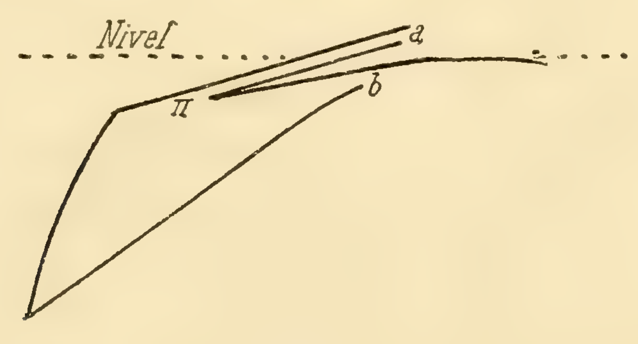



Fig. 421.

Entonces el aire entrará por la branquia *a*, y el agua que ocupaba el con-

ducto *a n* se saldrá por *b*, lo que seguirá sucediendo hasta que se ponga horizontal el tabique *t t'*.

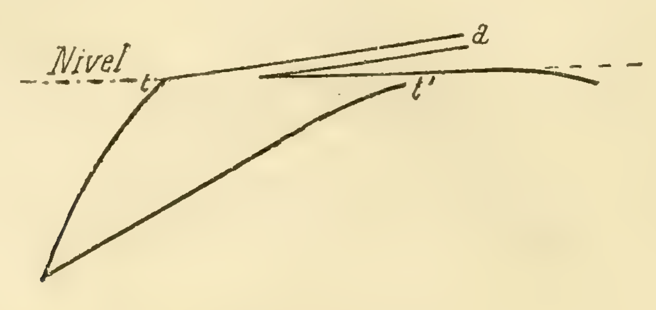



Fig. 422.

Por consiguiente, la branquia *a* estará toda por encima del nivel libre del estanque.

Si continúa la rotacion, sigue siempre entrando aire por la branquia *a*, y saliendo agua por el rectángulo *b*.

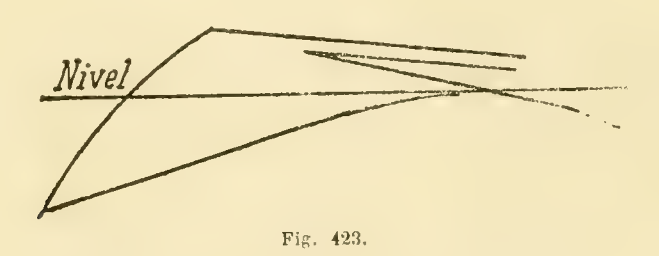



Fig. 423.

Y así prosigue el proceso de la alimentacion hasta que la pared extrema se

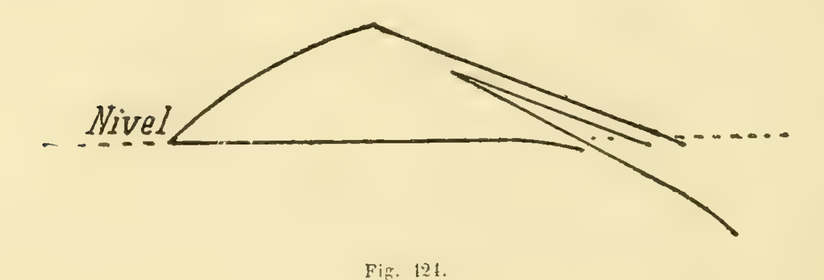



Fig. 424.

pone horizontal, posicion en la cual cesa el período de alimentacion, por estar obstruidas con el agua las dos entradas designadas *a* y *b* en las *figuras* 420 *y* 421.

Entonces, celda y branquia resultan llenos de aire, é incomunicados con la atmósfera ambiente.

Ahora empieza el período de la condensacion.

El líquido, penetrando por ambas aberturas á la vez, pero con preferencia por la branquia, en atencion á ser en ella mayor la presion hidráulica, comprime el gas en cualquiera de las posiciones intermedias, como las siguientes, por ejemplo, hasta el momento del almacenaje.

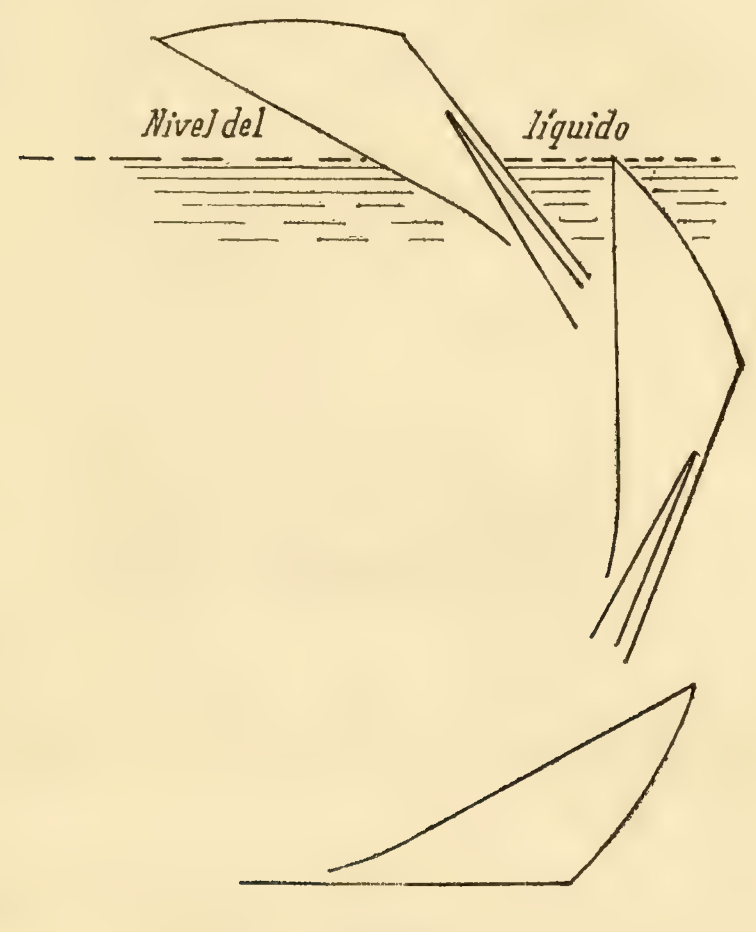



Fig. 425.

Llegado el período del almacenaje, tendrá la celda la posicion de la *figura* 426.

Y, continuando la rotacion de la celda á compás de la del foro, el aire saldrá comprimido de la celda y entrará en el globo-almacen: el líquido del estanque reemplazará en la celda al gas, introduciéndose por ambas entradas *a* y *b*, pero especialmente por la más baja ahora, que es la *a*, donde la presion hidráulica es mayor.

El aire á $2^{atm}$ que se introduzca en el globo-almacen no podrá salirse, por impedirlo el líquido que lo rodea (1), y así lograremos aprovechar la mejor de

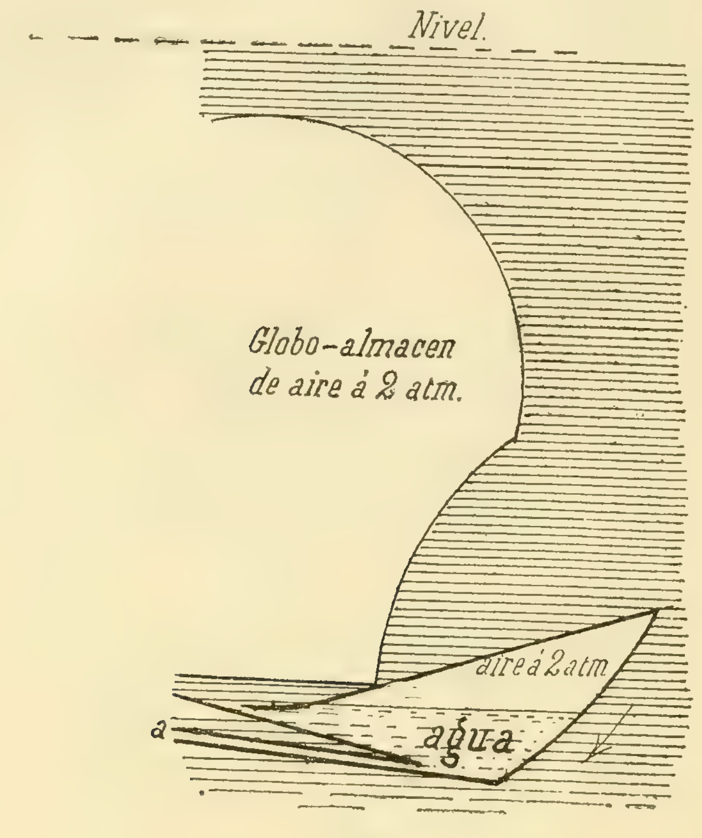



Fig. 426.

todas las obturaciones; la hidráulica (ó bien, la hidrargírica, ó, más en general, la líquida).

V.

Este resultado no deja ya que desear. Las válvulas son aquí innecesarias. El OPROBIO DE LA INDUSTRIA ha desaparecido POR COMPLETO.

Con movimiento circular contínuo y sin válvulas de ninguna clase, podemos, pues, condensar aire, aplicando el sistema celular al sistema de la inmersion.

Resultado tambien nuevo en PNEUMO-DINÁMICA, y de extraordinaria importancia industrial.

---

(1) Solo podrá escaparse cuando la masa de aire comprimido exceda el volúmen del globo, y su tension sea superior á la carga hidráulica. Pero esta salida no se consentirá jamas por la disciplina misma del procedimiento.

VI.

Y, como el aparato recuerda una noria invertida, por eso creo que no estaria mal denominar *norias de compresion* á los foros de compartimientos branquiales.

El conjunto de celdas compresoras recibiria con más propiedad aún el nombre de *noria de compresion,* si el aparato adoptase las formas articuladas siguientes.

Nada más fácil de concebir que su modo de funcionar individual y colectivo.

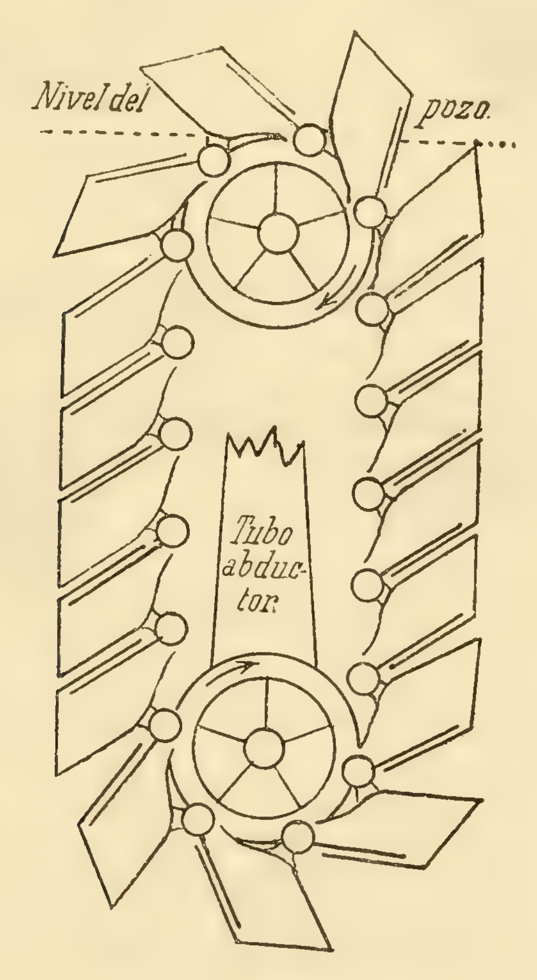



Fig. 127.

Y hé aquí que este aparato presenta nuevamente otro medio de ganar en esfuerzo y sin engranajes lo que se pierde en tiempo. Mientras de menor radio

sean las ruedas que sostienen y guian el aparato, se invertirá más tiempo en comprimir la misma cantidad de gas, pero se requerirá menor potencia.

Como se ve, cada arcaduz tiene, en lo esencial, la forma de las celdas branquiales que acabamos de estudiar: *a a*, *a'a'*..... representan las branquias.

La alimentacion exige las dos posiciones extremas que expresan las *figuras* 428 *y* 429.

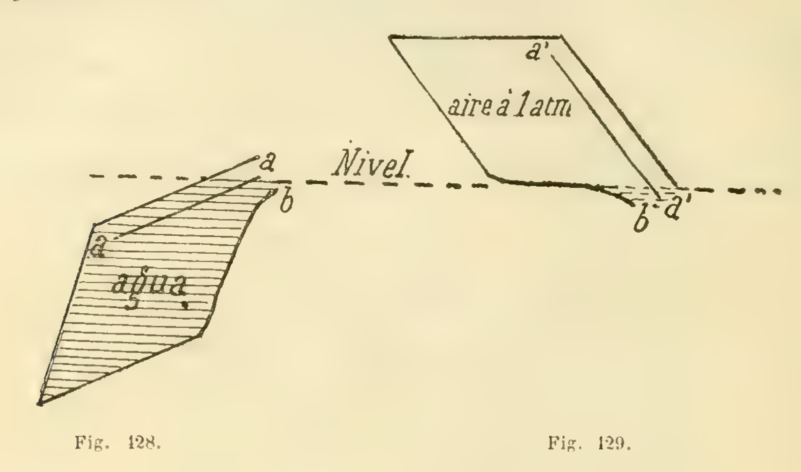



Fig. 428. Fig. 429.

El almacenaje empieza y acaba con las posiciones siguientes.

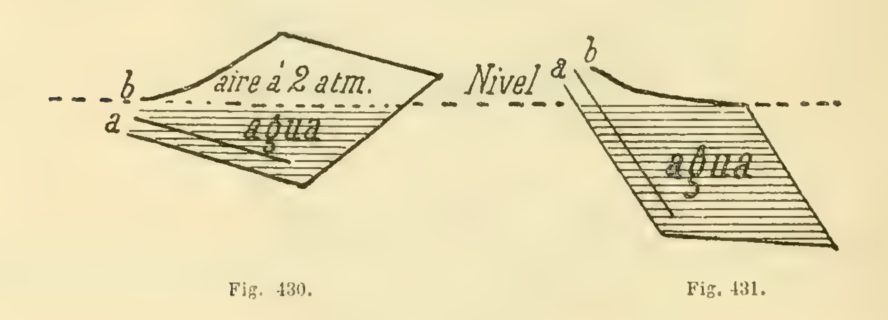



Fig. 430. Fig. 431.

Las demás posiciones de nuestra derecha *(fig.* 427) corresponden todas al período de condensacion.

## VII.

### CONDICIONES DE ESTA NOVEDAD.

Para que los foros branquiales funcionen bien en un estanque como noria de compresion, es preciso que tengan un gran número de celdas: 10, y mejor 12, me parecen bien como mínimum.

Un foro de 6, empezaria á almacenar en la posicion *o b c* de la *figura* 432, terminaria en la posicion *a d e* de la *figura* 432. El globo-almacen habria de

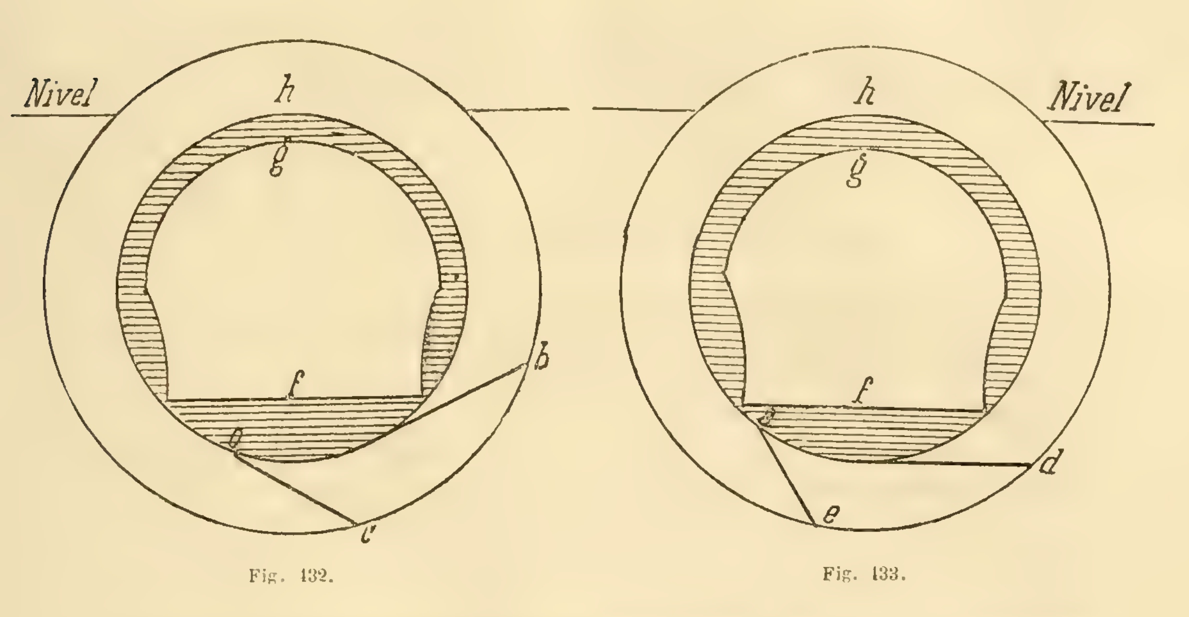



Fig. 432.    Fig. 433.

ser de gran abertura, segun las figuras representan; y el aire allí almacenado no podria tener más tension que la correspondiente á la altura hidráulica *f h;* lo cual quiere decir que habríamos comprimido el aire dentro del foro vanamente la distancia desde *f* hasta la horizontal *d (fig.* 433).

Con un foro de 12 celdas la pérdida es insignificante, como lo evidencia la inspeccion de la siguiente figura.

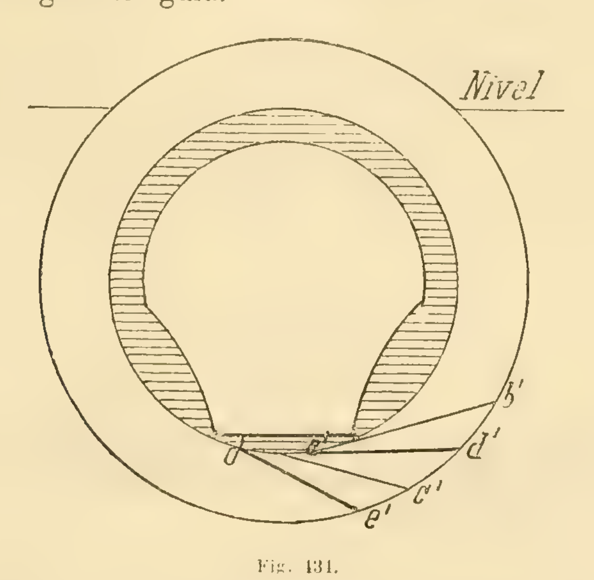



Fig. 434.

En la posicion *a'b'c'* empieza el almacenaje, que termina en la posicion *o'd'e'*.

Se aprovecha, por tanto, toda la altura hidráulica, exceptuando una insignificante cantidad, cuya pérdida en altura es $= \frac{6}{100}$ de la total en el caso del máximum.

Pasando de 12 las celdas, disminuye rápidamente esta ya reducida pérdida; pero la ventaja requiere complicacion relativamente innecesaria.

## VIII.

### TEORÍA DE UN FORO BRANQUIAL EN UN ESTANQUE.

Es la misma idénticamente que la de un foro comun celular.

Para vencer la resistencia de un foro no branquial de 6 celdas, tenemos que LEVANTAR en el aire el trapezoide *mnop*, disminuido en los auxilios *qrs* y *tuvw*.

Y, para vencer la resistencia del mismo foro branquial, tendremos que HUNDIR en agua (ú otro líquido) un trapezoide igual (á nuestra derecha), disminuido en las mismas masas auxiliares. En un caso hay que LEVANTAR y en otro hay que HUNDIR. Pero es de toda evidencia que el trapezoide branquial que hay que hundir, ménos las masas auxiliares, ofrecerá la misma resistencia á su inmersion que el trapezoide simplemente celular ofrecerá á su elevacion, siempre que el líquido compresor sea el mismo para un caso que para otro.

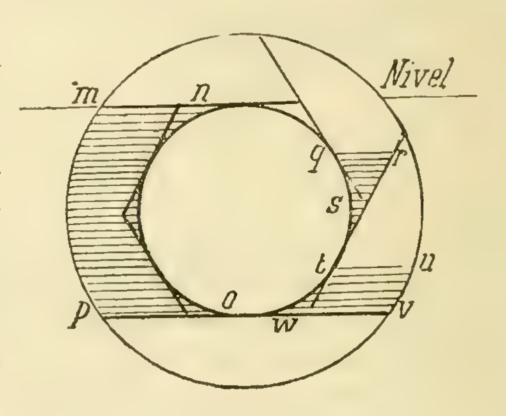


Fig. 135.

Esto, como se comprende desde luego, es independiente del número de las celdas, y de las modificaciones que las branquias puedan introducir en sus formas; porque, si bien las branquias aumentan la capacidad foral, siempre será posible hacer un foro simplemente celular de capacidad equivalente.

## IX.

### CONJUGACION.

Siendo la teoría de cada foro branquial igual á la explicada en los capítulos anteriores para los foros sin branquias, claro es que tambien habrá de serlo la conjugacion de los branquiales.

Y así es en efecto.

Supongamos que en otro segundo estanque, incomunicado por completo con la atmósfera ambiente, penetra el aire que ha sido comprimido por el primero

hasta la tension de $2^{atm}$, conducido por un tubo comunicante con el eje de los orificios.

De este aire se alimenta otro segundo foro branquial igual al primero, exceptuando la profundidad de las celdas, que debe ser igual á $\frac{1}{2}$; esta segunda noria recondensa el aire y lo envia á otro tercer estanque, tambien cerrado, donde hay otro foro branquial de profundidad $= \frac{1}{3}$.....

Luego, etc.

## X.

Ahora bien:

Lo inesperado y lo que hace que el sistema de la inmersion se identifique—por completo—con el de los foros celulares estudiado en los capítulos anteriores, es que la profundidad de los océanos, rios ó estanques, puede, si se permite una sinécdoque atrevida, albergarse dentro de los foros celulares (1).

Pero, para obtener tan apetecible resultado, hay que introducir ligeras modificaciones en lo que acabamos de estudiar.

Vamos á comprimir aire á 4 atmósferas conjugando 3 foros branquiales, como sigue.

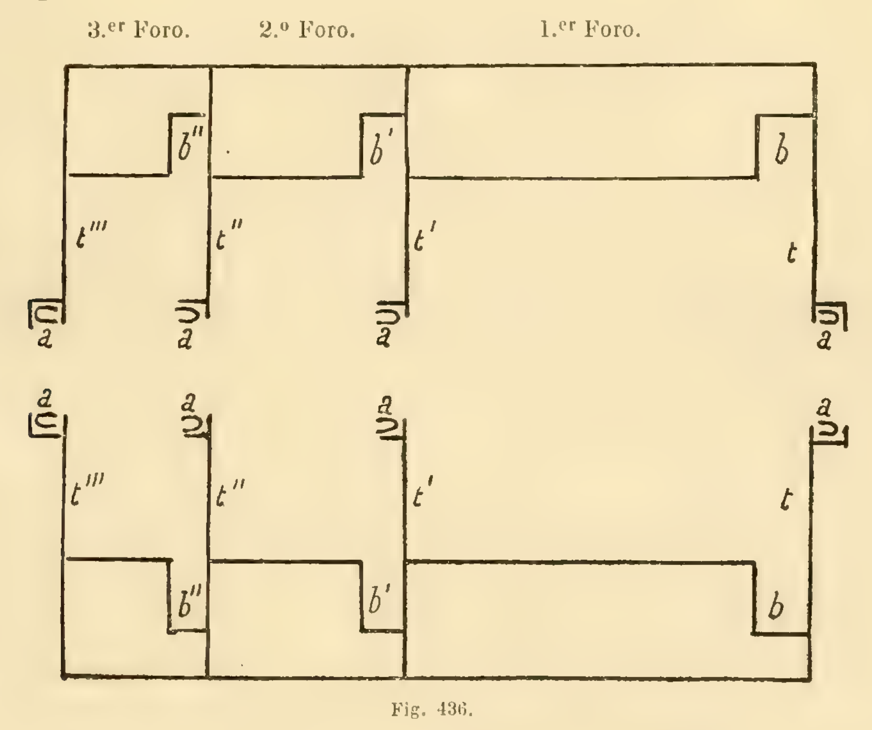



Fig. 436.

Las branquias salen á los espacios *bb*, *b'b'* y *b''b''*.

---

(1) Esto, dicho así en toda su generalidad, sería ciertamente insensato; pero, limitando esta generalidad á la sola idea de columna líquida compresora, la expresion es más correcta de lo que á primera vista pudiera aparecer.

Hay 4 cueros embutidos *a*, *a*....., segun indica la *fig.* 436, ú órganos equivalentes de anillos metálicos: *t*, *t'*, *t''*, *t'''* son tabiques divisorios. Estos ta-



Fig. 437.

biques sirven tambien para sostener el sistema, como los rayos antedichos.

Los globos-almacen de los 3 foros formarán una pieza, como, sigue *(figuras* 438 *y* 439).

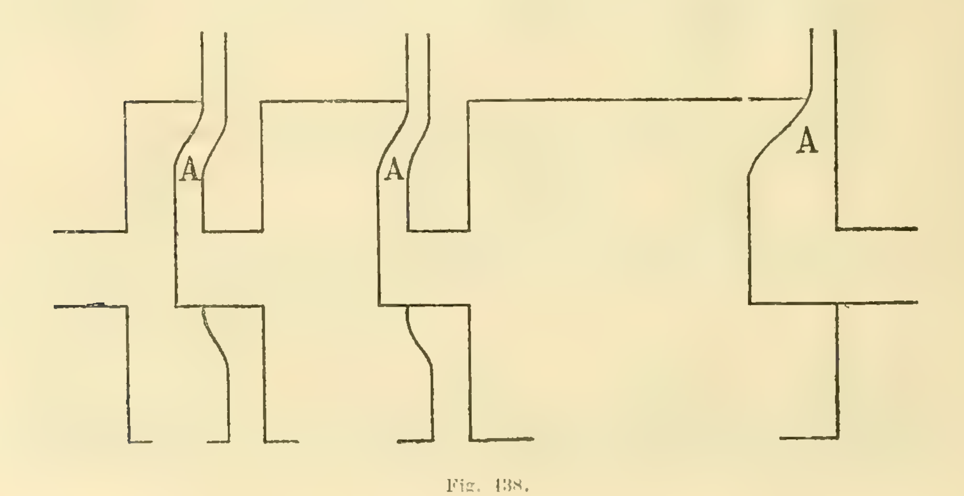



Fig. 438.

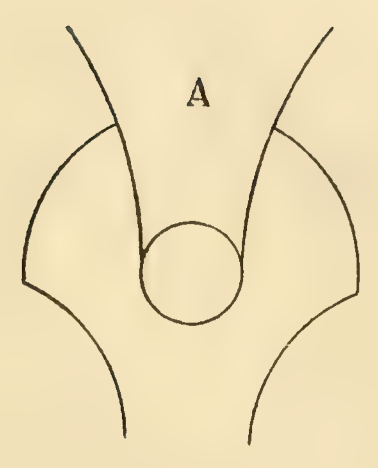



Fig. 139.

Colocados los globos-almacen dentro del sistema de foros, resultará lo que sigue.

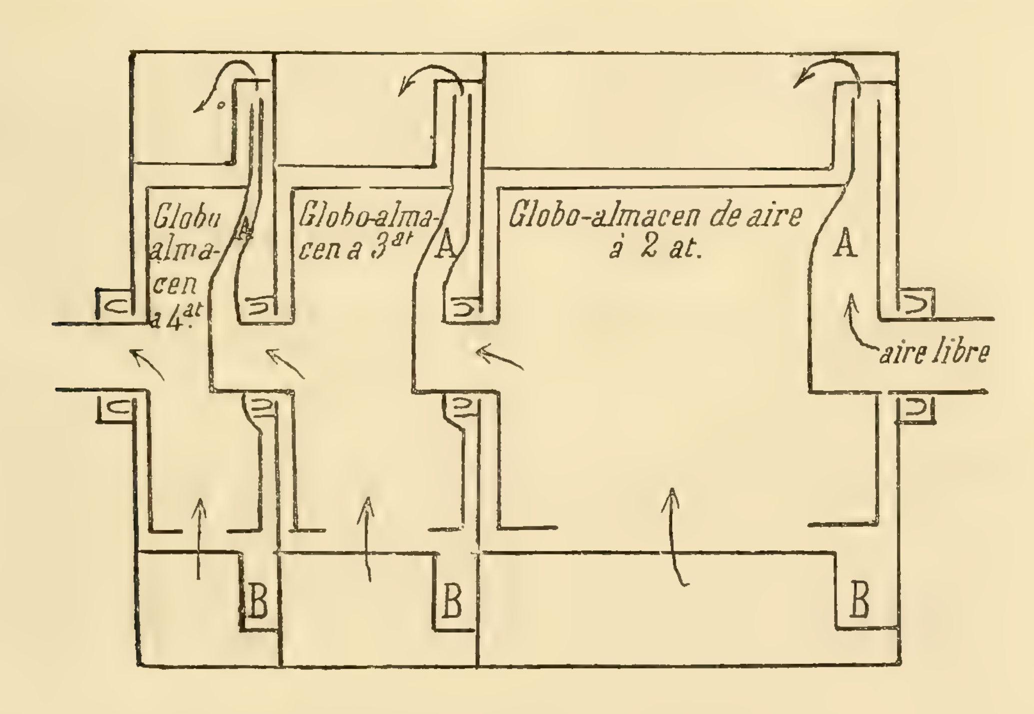



Fig. 140.

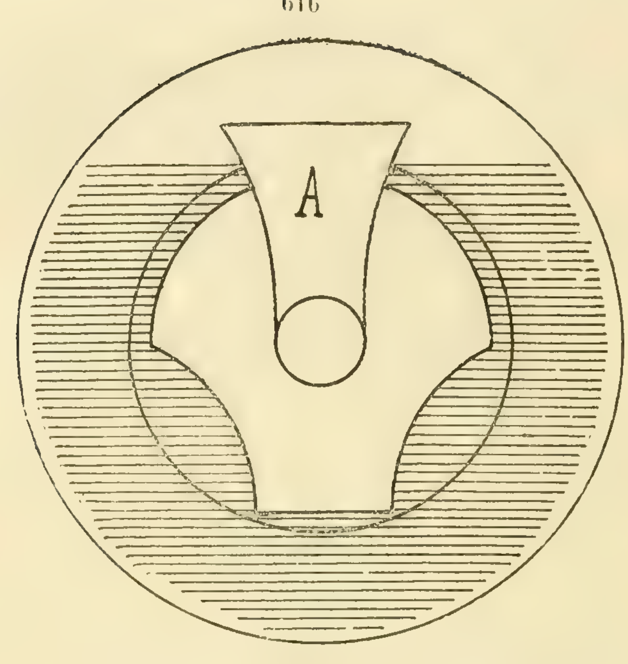



Fig. 111.

Falta la designacion de las branquias laterales: imagínense.

Los 3 foros conjugados forman un conjunto rígido, sostenido por los ejes de los globos-almacen, y susceptible de girar sobre ellos. Soportes apropiados sostienen los globos-almacen, rígidamente unidos á los soportes, é inmóviles por tanto.

Los globos, pues, no participan de los movimientos giratorios del sistema branquial.

Tampoco el líquido compresor, solicitado por la gravedad, participa de la rotacion foral, por lo que las superficies libres se encuentran horizontales.

Por supuesto:

1.° A cada globo-almacen está rígidamente adherido el conducto aeróforo recodado *A*, que suministra el aire necesario á la alimentacion de las branquias;

Y 2.° Los cueros embutidos, ó los correspondientes anillos metálicos, aseguran la hermeticidad de los varios departamentos del sistema; con la particularidad ventajosísima de que, en el caso improbable de no ser perfecta la hermeticidad hidráulica, no pasaria aire de un lado á otro, sino agua fácilmente reemplazable (1).

---

(1) Los cueros embutidos deben suprimirse, sustituyéndolos con los obturadores metálicos, que son de más larga duracion.

Entre los mejores, pueden servir los *presse-étoupes metalliques* de Hartzenstein, y los de *garnitures metalliques et ressort*, premiados en la Exposicion de Filadelfia.

Tambien es muy bueno el *presse-étoupe*, sistema Murray Jackson, de Buda-Pesth, Hungría, muy usado en los vapores de la Compañía de navegacion del Danubio: con-

Es importante notar que como los gases condensados antes de ir á sus respectivos globos-almacen, atraviesan masas de agua fria, esos gases á su salida de ellos resultarán secos por las razones explicadas en la nota 1.ª de la pág. 215. Por consiguiente, al usarse ulteriormente este aire, libre de humedad, en los correspondientes aero-motores, no serán de temer los desastrosos efectos de la súbita formacion del hielo en los conductos de salida (se entiende en los aero-motores cilíndricos usuales).

## XI.

Este sistema invalvular tiene que funcionar con regularidad perfecta y sin averías. Las fuerzas de la gravedad guian los gases y los líquidos por sus respectivos conductos de un modo tal, que siempre permite á los gases, como más ligeros, sobreponerse á los líquidos que los comprimen de abajo arriba, como más pesados. Principios físicos muy conocidos intervienen aquí:

El de Arquímedes,
El de Pascal,
El de Mariotte,

fundados á su vez en propiedades de todos sabidas:

La gravedad,
La impenetrabilidad,
Y la compresibilidad.

Solamente los cueros embutidos, ó sus equivalentes los anillos metálicos, necesitarán de reemplazo á largos intérvalos de tiempo.

El aire producido saldrá seco.

## XII.

### TEORÍA DE ESTA CONJUGACION.

El modo de funcionar estos aparatos es precisamente el de los compresores de inmersion, pero su teoría es la de los foros celulares.

---

siste en semianillos concéntricos de dos metales: de bronce los interiores ó de menor diámetro, y de fundicion los de diámetro mayor.

Pueden tambien utilizarse las preciosas propiedades de la liga de estaño y fósforo, invencion de Ravene (Berlin, Ravene y Compañía). Esta liga funde á 330° C.; no se recalienta con las grandes velocidades; no requiere lubricacion; y, si se usan aceites, cualesquiera son buenos, aun los mas inferiores y baratos: se moldea sobre los ejes mismos de las máquinas, ajustándose á ellos con extraordinaria precision y el consiguiente ahorro, y no se encoje al enfriarse. Para hacer la forma, el eje se coloca en sus cojinetes concéntricamente y sin tocarlos, se tapan los lados con arcilla, y en el hueco se vierte la liga, préviamente fundida. El fósforo se usa en la proporcion de 5 por 100. Esta liga sirve tambien con ventaja y economía para el bronce fosforado.

El agua de cada segmento neutro no pesa para la fuerza motriz, destruida como se halla la resultante de su gravedad por los soportes que sostienen los foros conjugados. Solo hay que levantar, cuando ellos giran, los trapezoides de la resistencia, ménos lo que importen las masas auxiliares.

La teoría es, pues, la misma de los foros celulares sencillos; y, así, el sistema branquial los relaciona íntimamente con el de la inmersion.

## XIII.

Muchas son las formas que pueden darse á las celdas branquiales. Conozco que no debo entrar en pormenores técnicos; pero algunas indicaciones generales se me han de permitir.

Las branquias, en general, pueden ser LATERALES, POSTERIORES, Ó INTERIORES. Unas y otras ofrecen ventajas relativas: las resumiré.

Los sistemas de branquias laterales ocupan MÉNOS ESPACIO que los de branquias posteriores; exigen ménos material; necesitan planchas ménos resistentes, son más sólidos á igualdad de espesores metálicos; pesan ménos, y pueden hacerse de formas susceptibles de desarrollo en un plano, lo que en muchos casos facilitará la construccion.

Los de branquias posteriores dan, sin embargo, la seguridad de que la alimentacion y el almacenaje se han de verificar con suma holgura, porque, estando las branquias á mayor distancia del centro, se establecerán mayores diferencias de carga hidráulica. Además, las entradas de las branquias posteriores pueden ser siempre de mayor seccion que las de las branquias laterales; y, facilitado así el acceso del agua compresora en los breves momentos del almacenaje, los foros de branquias posteriores, aunque siempre han de girar con lentitud (condicion inexcusable), serán, sin embargo, fácilmente susceptibles de CAMBIOS EN LA VELOCIDAD DE ROTACION, preciosa circunstancia que me inclina á preferir los sistemas de branquias posteriores á los sistemas de branquias laterales.

Los de branquias interiores necesitan suma regularidad en la marcha; pero en aparatos de grandes diámetros ofrecerán evidentes ventajas.

Pronto será todo esto intuitivo.

## XIV.

Para que no resulte intermitente el almacenaje, es preciso que sean 2 los foros de 12 celdas branquiales, ocupados en comprimir aire desde una cierta densidad á otra más alta. Las proyecciones de los tabiques de estas celdas, miradas desde la prolongacion del eje, han de cruzarse á 15 grados sobre el plano vertical cuando fueren 12. Cada uno de los tubos de alimentacion reco-

dados $A$, $A'$....., será comun para cada 2 foros ocupados en la misma tarea de condensar á una determinada tension. Así $A$ alimentaria á los 2 foros $F$ y $F$; $A'$ á los dos $F'$ y $F'$....., etc.

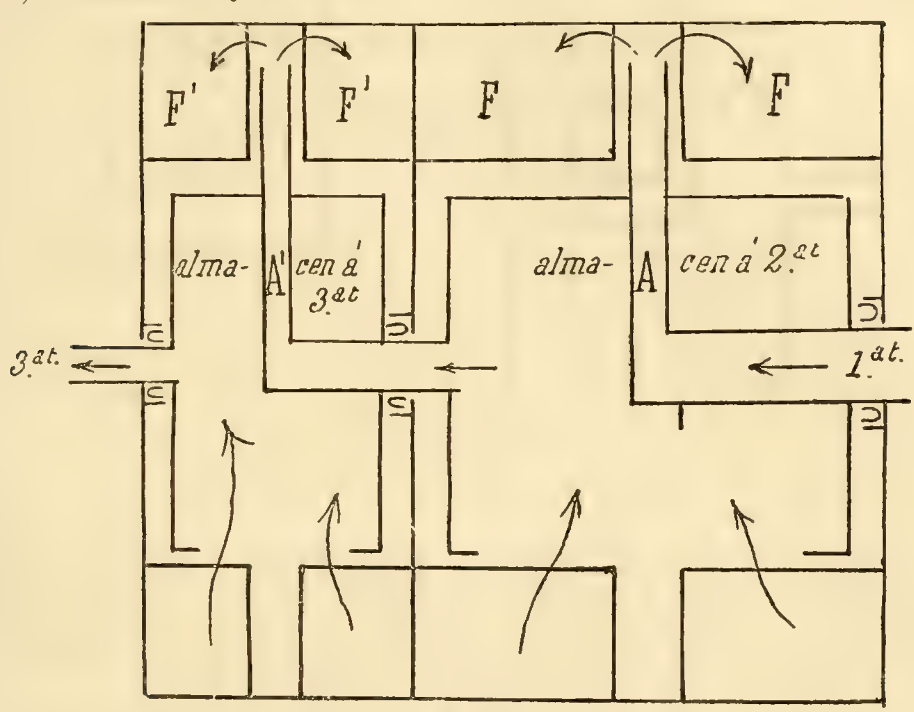



Fig. 442.

Separados los foros y los globos-almacen, resultará lo que sigue

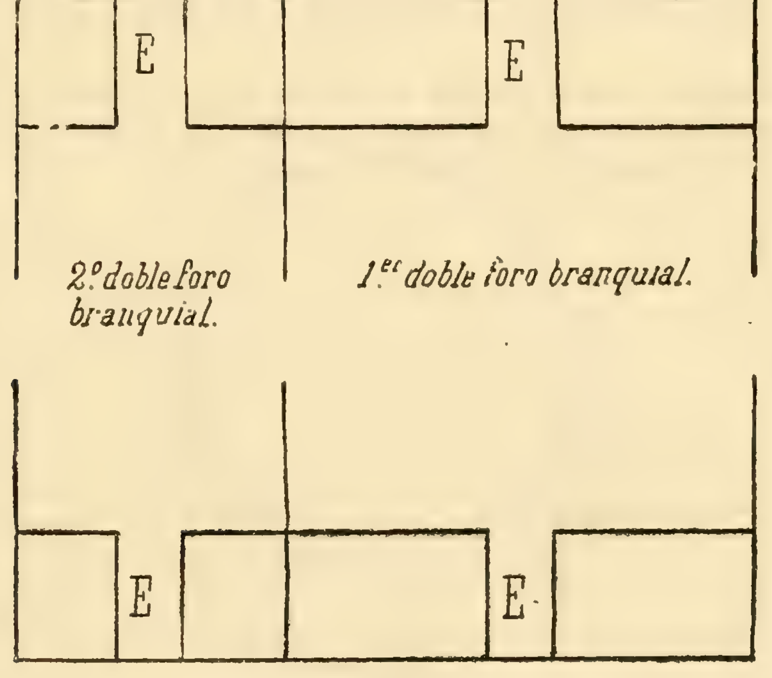



Fig. 443.

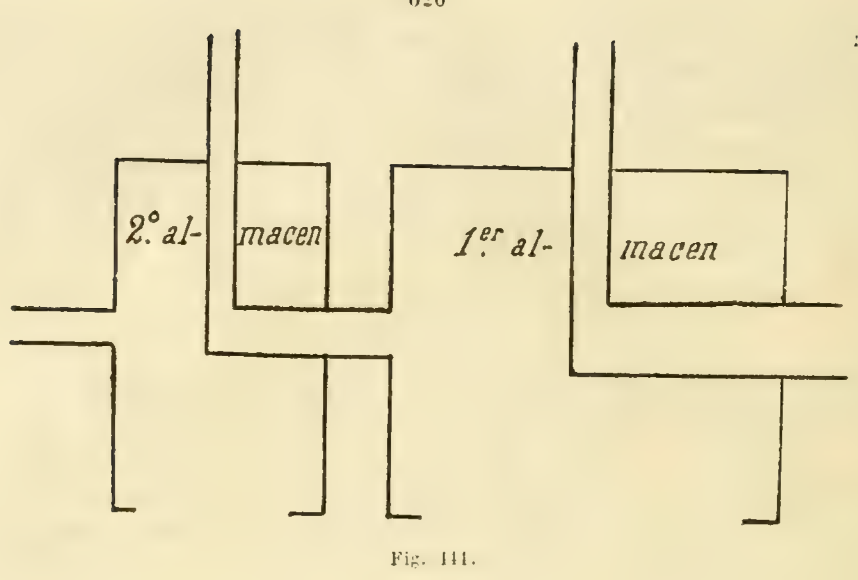



Fig. 444.

## XV.

En la anterior disposicion quedan completamente sin empleo los espacios *E*, *E*.....; y, para aprovecharlos, y facilitar y acelerar el ingreso del líquido comprimente por debajo de la egresion gaseosa en el período del almacenaje, podria convenir dar otras formas al sistema de branquias laterales.

Voy, pues, á describir un sistema de branquias laterales, que aproveche ese espacio, y sea además susceptible de desarrollo en un plano.

## XVI.

Supongamos, pues, un sistema de tabiques perpendiculares al plano del papel, segun marca la siguiente *figura* 445. Es evidente que por cualquier rectángulo *a*, se puede pasar á cualquier espacio *B*.

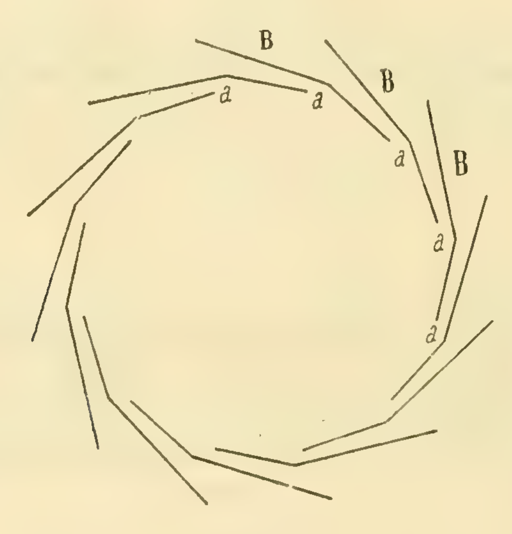



Fig. 445.

Supongamos ahora cubiertos estos 12 tabiques angulares, y soldada á ellos perpendicularmente una plancha circular (por la parte exterior encima del plano del papel), y resultará la *figura* que sigue (446), en que, desde *a*, como antes, se podrá pasar al espacio *B* (ahora cubierto por un lado, no por otro); desde *a'* se llegará á *B'*; desde *a''* se entrará en *B''*, y....., etc.

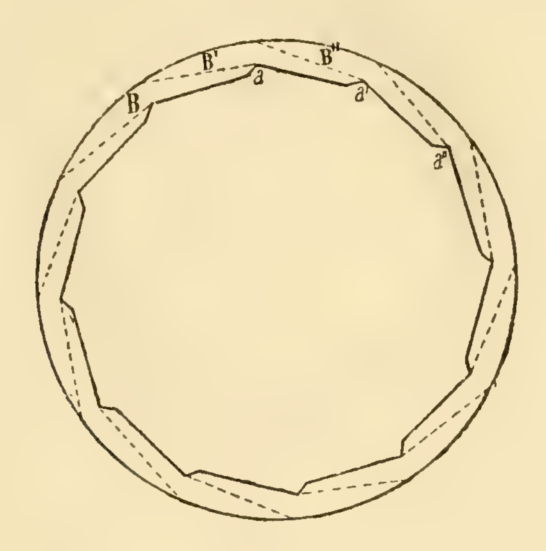



Fig. 446.

Este conjunto de branquias, cubiertas por un lado pero no por otro, se soldará por el lado descubierto á uno de nuestros ya estudiados foros de 12 celdas, como indica el rayado *(fig. 447)*.

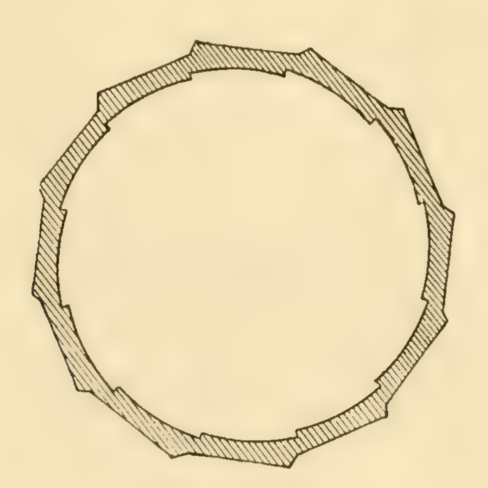


Fig. 447.

Y nos resultará el conjunto que manifiestan las 2 figuras que siguen (448 *y* 449), facilísimo ya de comprender.

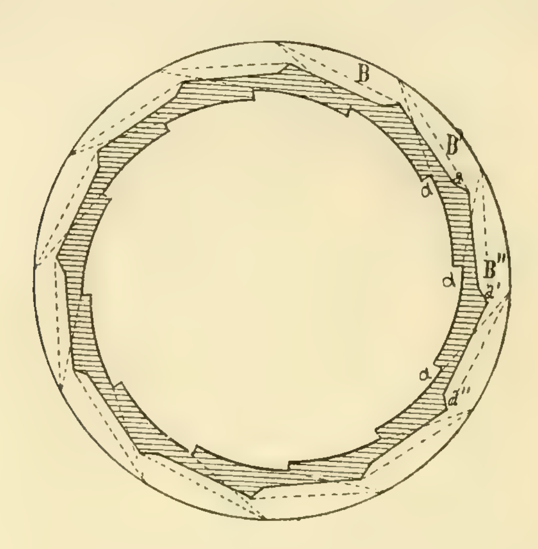



Fig. 448.

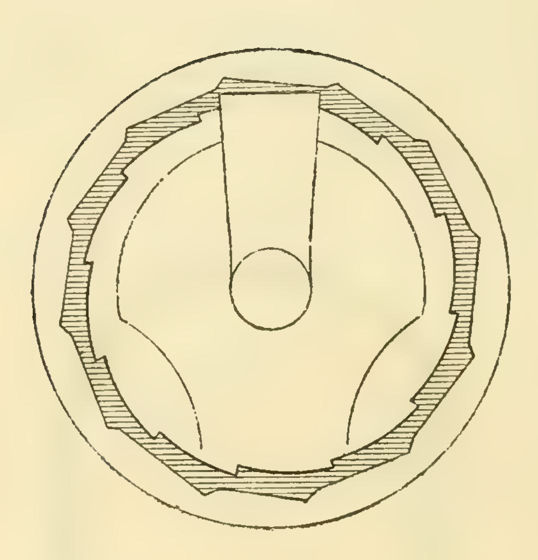


Fig. 449.

En la 448, la parte sin rayar representa el plano de la cubierta de las branquias por encima del plano del papel; y la rayada (que se puede suponer coincidente con el plano del papel) indica la parte de cubierta del foro de las 12 celdas, á la cual están soldadas las branquias laterales.

Las líneas de puntos indican el camino que por los conductos branquiales tienen que seguir los líquidos para entrar en las celdas de los foros.

Por *a* sube el líquido hasta *B;* por *a'* á *B'*..... Tambien puede entrar (y entrará) en las celdas el líquido compresor directamente por las aberturas rectangulares $\alpha$, $\alpha$, $\alpha$..... En el almacenaje el líquido compresor entra por una *a*, y el gas comprimido sale por una $\alpha$.

La *figura* 449 representa una seccion vertical de uno de estos foros de branquias laterales con su globo-almacen.

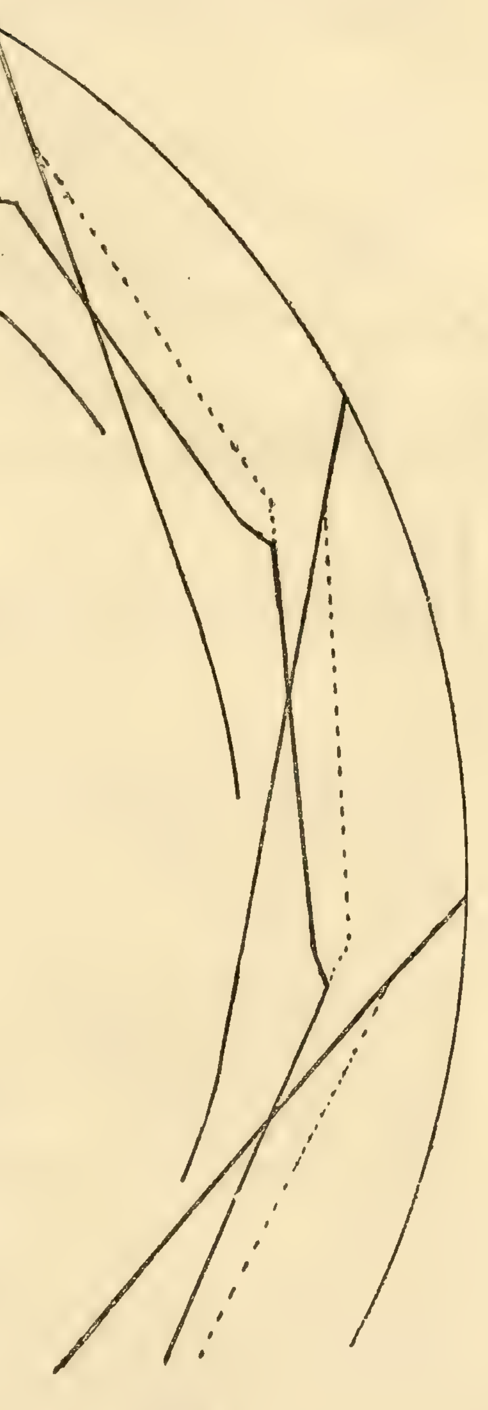


Fig. 150.

XVII.

Estos tabiques rectilíneos tienen sobre los curvos la indicada ventaja (que deberá resultar de sumo valor en muchos casos) de ser susceptibles de desarrollo en un plano. Por ejemplo, celdas y branquias pueden formarse para la *figura* 450 plegando convenientemente la que sigue *(fig.* 451).

Supongamos el fácil caso de un foro que tenga muy pocas resistencias que

vencer, y cuyas paredes pudieran formarse de poco espesas planchas (digamos de hierro dulce ó zinc) (1).

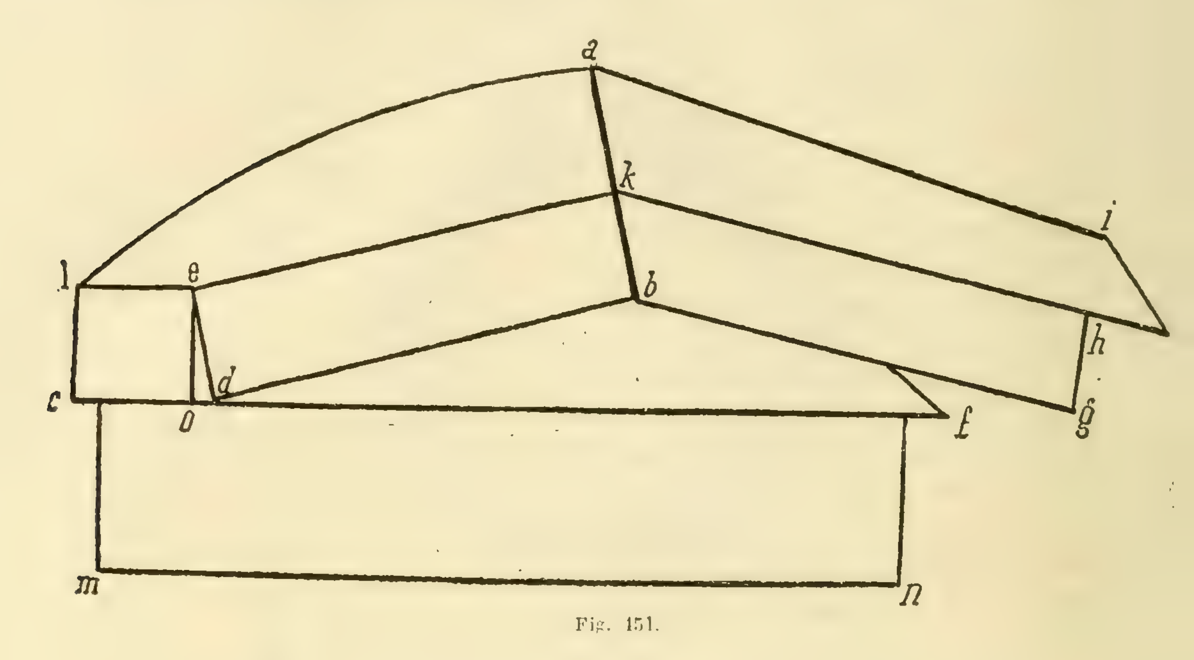



Fig. 151.

Se recortaría el perímetro de la anterior figura.

Se calaria la plancha con un
corte desde $a$ hasta $b$;
con otro desde $c$ hasta $d$;
con otro desde $d$ hasta $e$.

En seguida:

1.° Se plegaria esa forma por la línea $cf$, hasta que el plano $cfnm$ formase un ángulo diedro de 90° con el resto de la plancha, sirviendo por supuesto de arista la citada recta $cf$.

2.° Se plegaria luego $aihgb$, hasta formar con $dbf$ un ángulo diedro de 90° segun la arista $bg$.

3.° Se plegaria $labdc$ hasta formar con el mismo plano $dbf$ un diedro de 90° segun la arista $db$.

---

(1) En los foros propuestos hasta aquí, los tabiques de separacion entre foro y foro no necesitan más resistencia que la necesaria para contrarestar $1^{atm}$. La plancha que separa el foro primario del mediano tiene por la derecha que vencer la presion de 2 (1 atmósfera de agua y otra la normal ambiente); y por la derecha tiene que vencer la presion de 3 ($1^{atm}$ por el agua y 2 más por el aire recondensado á esta tension, que sirve de alimento al foro mediano), etc. Una cosa análoga (no igual) hay que decir de los cueros embutidos.

Solamente la plancha externa del último foro es la que tiene que ser de gran resistencia. Por ejemplo, en la *figura* 140, el foro menor tiene interiormente $4^{atm}$ de tension, y exteriormente 1, etc.

4.° Se plegaria *a i h k* hasta formar otro ángulo diedro de 90° con *k h g b* segun la arista *k h*.

5.° *l a k e* formaria otro diedro de 90° con *e k b d* segun *e k*.

6.° *l e d c*, diedro de 90°, con *l a k e* segun *l e*.

7.° En seguida se soldaria, ó clavaría el plano *l a k e* con el plano *a i h k*;

8.° Luego el plano *l e o c* con *e k b d*;

9.° Y, al fin, *l e o c* con *c f n m*, mediante el correspondiente suplemento.

De este modo tendríamos una celda branquial, algo semejante á una escalera, en que serían recíprocamente perpendiculares

| | | |
|---|---|---|
| *c f n m* | y | *d b f*, |
| *k h g b* | y | *d b f*, |
| *e k b d* | y | *d b f*, |
| *a i h k* | y | *k h g b*, |
| *l a k e* | y | *e k b d*. |

Doce desarrollos como el anterior, plegados y soldados ó clavados convenientemente, constituirian un foro de branquias laterales de fácil construccion, aprovechamiento de espacio, etc., etc.

## XIII.

Pero, por muchas que sean las ventajas de los foros con branquias laterales, me parece que han de ser de más utilidad los foros de branquias posteriores.

Voy, pues, á describir un sistema de esta clase, al cual juzgo de excelentes

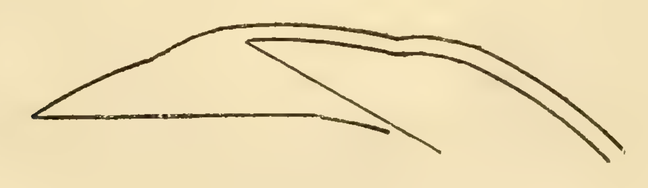


Fig. 452.

resultados. Cada branquia será de la forma que representa la *figura* 452, y el conjunto estaria simbolizado por la *figura* 453.

Para que no haya intermitencias se comprime el aire á una misma densidad por 2 foros iguales al de la *figura* 453; pero las proyecciones de sus celdas han de cruzarse simétricamente en el plano vertical.

Los espacios *E*, *E*, *E*....., de la *figura* 443, quedan sin empleo.

Por ellos circula libremente el líquido compresor, que baña la galería posterior de ambos foros *g g g g* (*fig.* 453). Es, pues, necesaria esta galería, lo que aumenta el tamaño foral.

El sistema de alimentacion por causa de las branquias, difiere alguna cosa del antes explicado para los simples foros celulares.

En efecto, la branquia *a* correspondiente á la celda *A*, empieza á salir del líquido compresor, y el líquido que la llenaba sale por el rectángulo *a'*..... La alimentacion dura, pues, más tiempo que en el sistema simplemente celular.

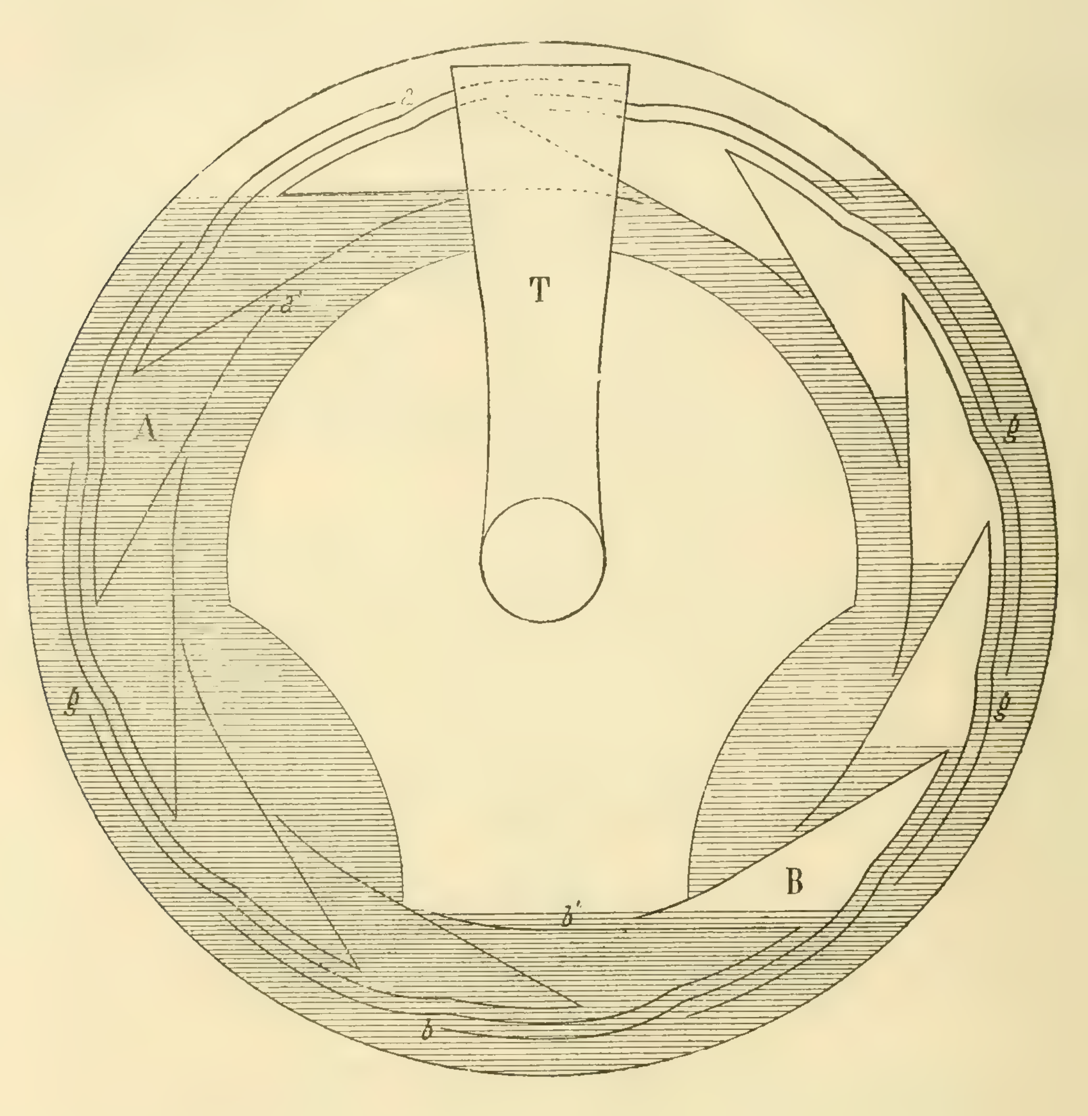



Fig. 453.

La *figura* 453 evidencia el proceso de la condensacion. Las branquias se llenan de aire, y este aire completa el de la capacidad propiamente celular. Las branquias son las primeras en llenarse del líquido compresor, y esto, en parte, sustituye, y con ventaja, al antiguo auxilio hidráulico de los simples foros celulares, porque el espacio lleno ahora de líquido está á mayor distancia del centro que antes.

El almacenamiento debe verificarse con suma energía. En la celda *B (figura 453)* entrará abundantemente el líquido compresor por la ancha branquia *b*, y el gas saldrá sin mezcla de líquido por *b'*, á causa de la notable diferencia de carga hidráulica existente entre *b* y *b'*, toda vez que *b* está mucho más bajo que *b'*.

El tubo recodado de alimentacion *T* puede ascender á mucha mayor altura

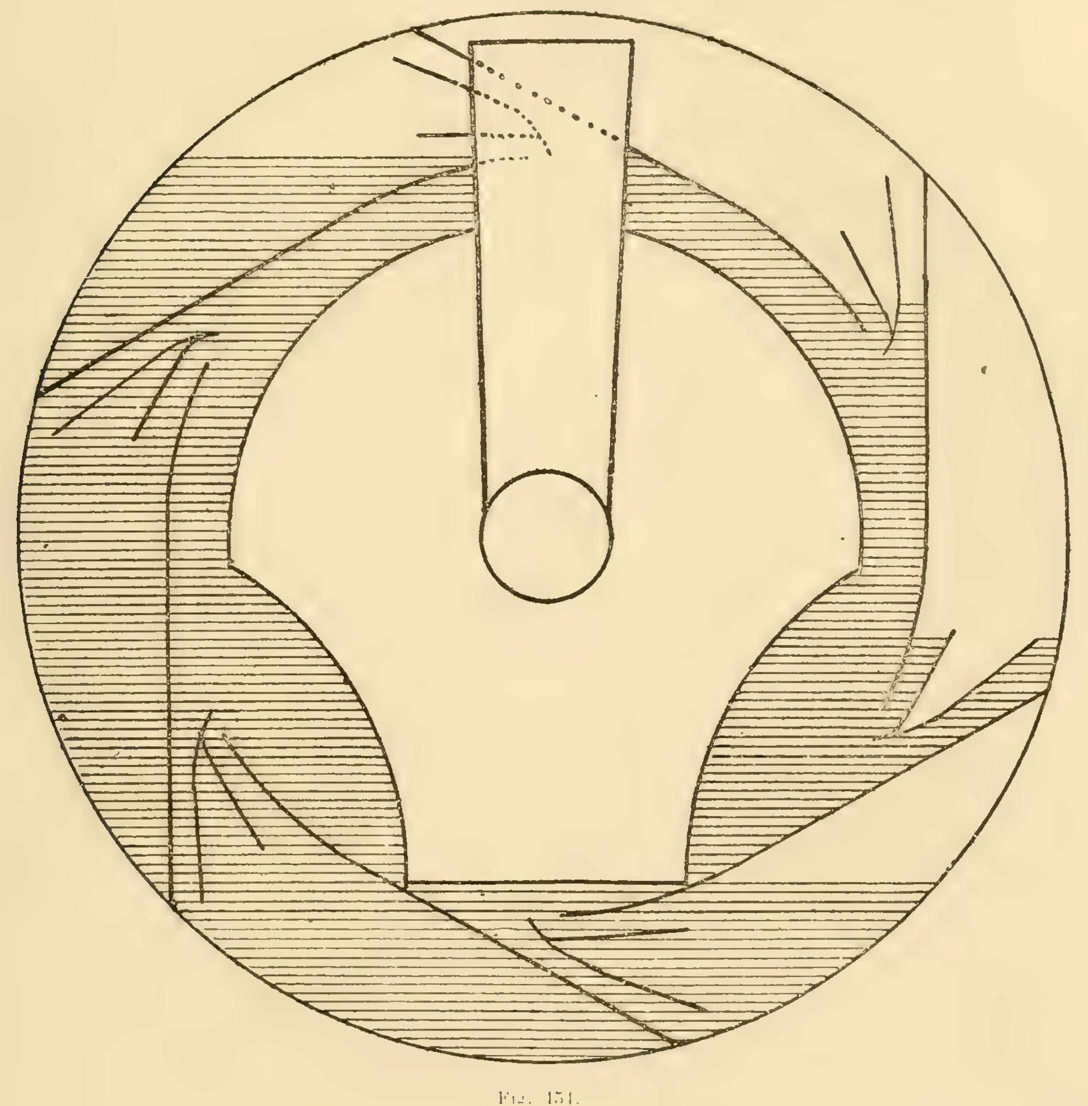


Fig. 454.

que en cualquier otro caso, con lo que se facilita la separacion de gas y líquido. La circulacion del líquido compresor es ahora extraordinariamente fácil, y no hay que temer que las capas superiores se calienten independientemente de las inferiores; porque el líquido, removido sin cesar, tendrá en todas sus capas una temperatura uniforme. Además, sin temor á movimientos parásitos, pue-

den usarse enormes cantidades de líquido compresor, más difíciles de calentar mientras mayor sea su masa. Estas moles líquidas están siempre en equilibrio sobre los soportes del foro, y solo exigirán el pequeño gasto de fuerza motriz necesario á vencer el mayor rozamiento de los foros en sus sostenes, por causa del mayor peso de la mole líquida.

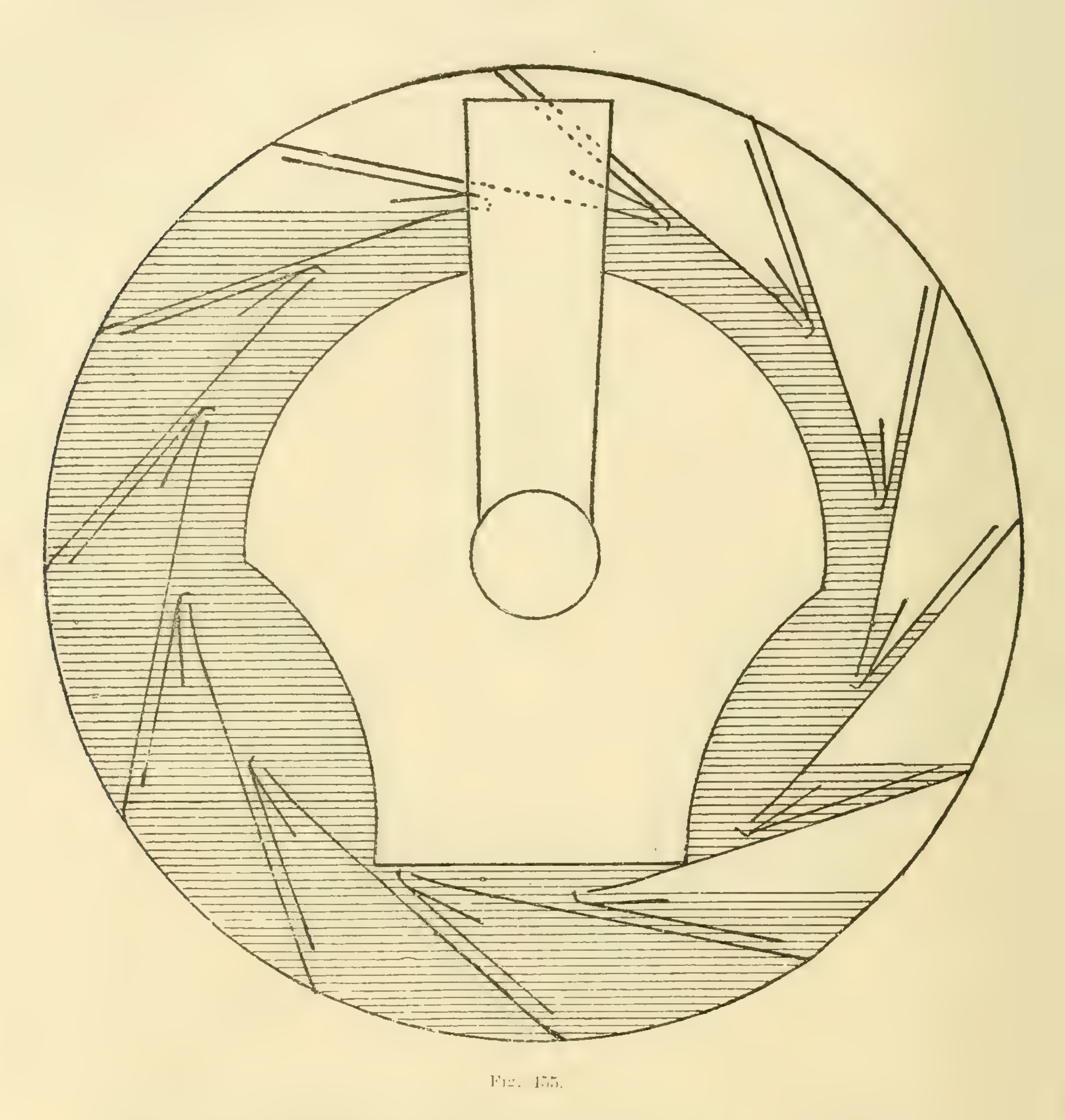


Fig. 155.

Por último, dadas todas estas facilidades, el foro es, en ciertos límites, susceptible de cambios no perjudiciales en la velocidad de su rotacion.

# XIX.

Tenemos, pues, foros de branquias laterales y foros de branquias exteriores, cada clase dotada de peculiares ventajas.

Tambien puede haber foros de branquias interiores, con méritos relativos respecto de las otras clases que, por de contado, entrañan desventajas en especiales conceptos.

No me detendré en la discusion de esos detalles, aunque *it is attention to little things that constitutes perfection.*

El foro de 6 celdas y branquias interiores *(fig.* 454*)*, es propio para una gran carga de líquido compresor.

El foro de 12 celdas y branquias interiores, indicado por la *figura* 455, es propio para una pequeña carga de líquido compresor.

En las 2 *figuras* anteriores (454 *y* 455), las branquias están constituidas por planos perpendiculares á las coronas circulares que forman las superficies laterales y paralelas de los foros. Naturalmente tales planos perpendiculares tienen de latitud una dimension igual á la profundidad del foro, limitados como están en tal sentido por las coronas paralelas y laterales. Pero estas coronas laterales á fin de permitir fácilmente la alimentacion, tienen las escotaduras que manifiestan las *figuras* siguientes 456 *y* 457.

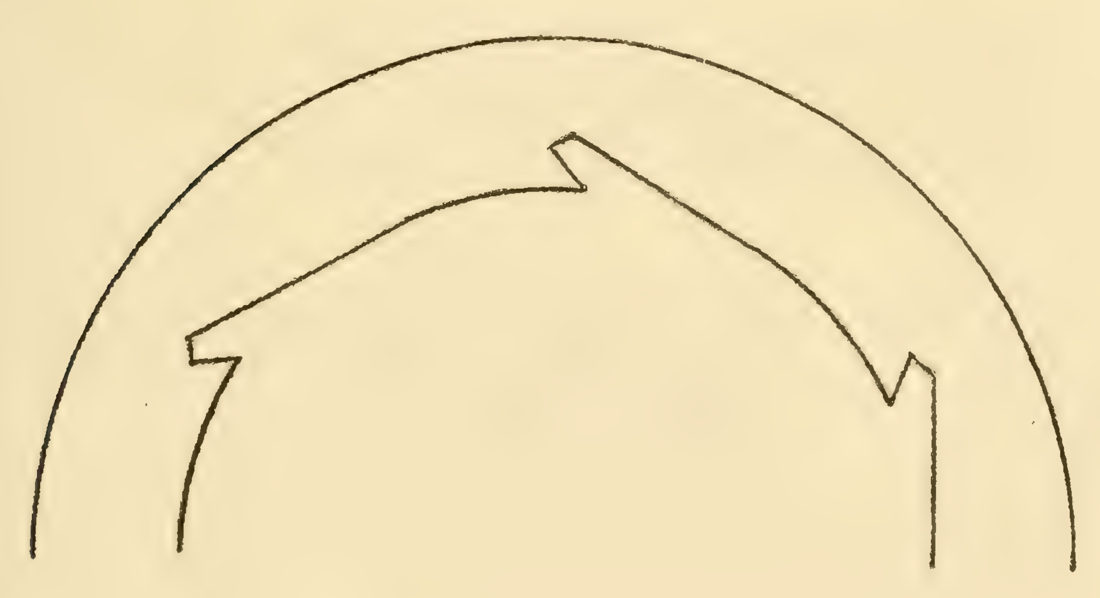


Fig. 456.

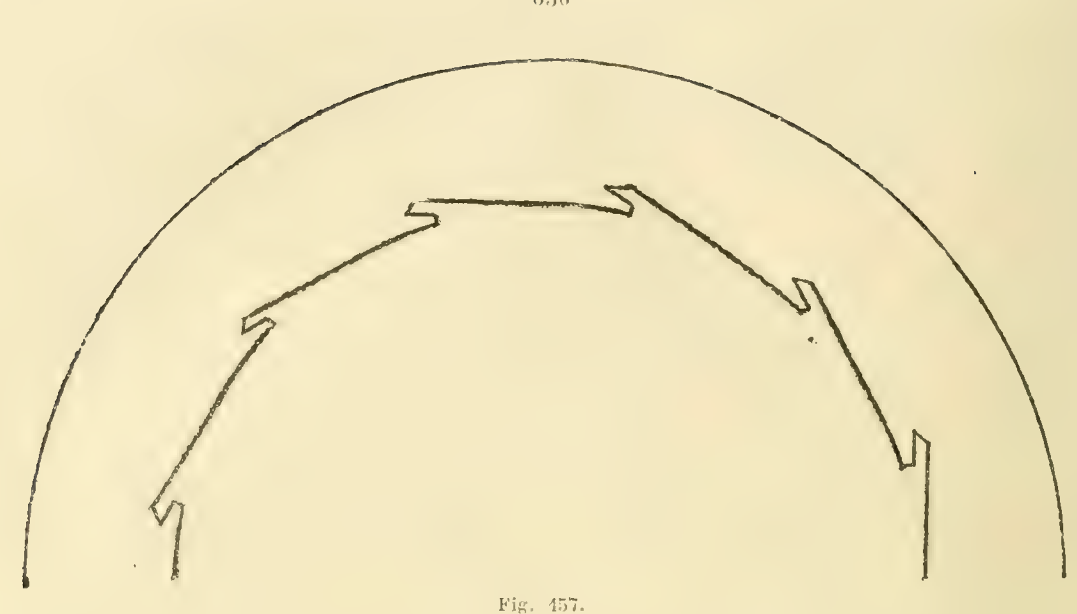


Fig. 457.

Para la alimentacion en estos foros de branquias internas no hay de espacio aprovechable más que la diferencia existente entre la apotema del círculo inscrito y el radio del polígono circunscrito, por lo que estas formas forales, económicas en volúmen y en mano de obra, requerirán mayor esmero de construccion que las demás, y condiciones de marcha muy lenta y sosegada.

En efecto, cuando la celda *M* (*fig.* 458) empieza á condensar, la branquia *b* ha descendido hasta el nivel del líquido, ó sea hasta la línea del cero de presion; y ya, estando dentro del agua ambos orificios *a* y *b*, no puede penetrar en la celda más aire de alimentacion.

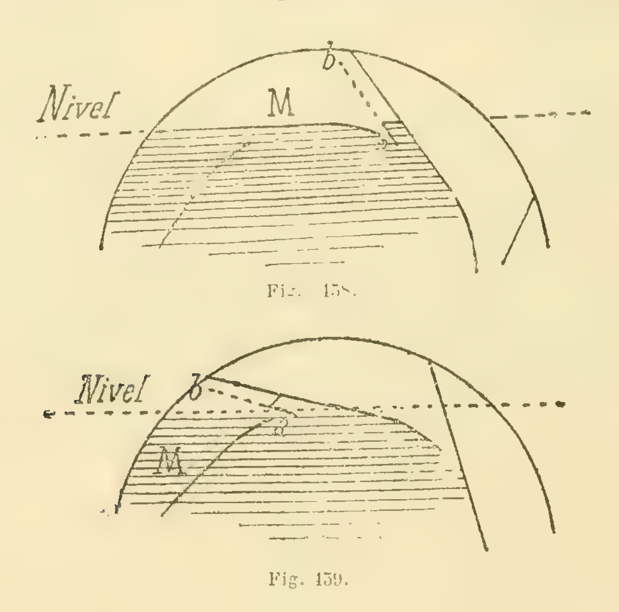



Fig. 458.

Fig. 459.

Pero, ANTES DE ESA POSICION, cuando era otra cualquiera la situacion de *M* DURANTE TODO EL PERÍODO DE LA SUCCION, la branquia *b* tuvo que estar fuera del agua; por ejemplo, como marca la *figura* 459, y por el prisma triangular intermedio se verificó la alimentacion, al paso que por el rectángulo *a*, siempre en contacto con el agua de la línea del cero, iba saliendo el líquido que llenaba momentos antes la misma celda *M*.

Pero basta.

## XX.

### EPÍLOGO.

He llegado al término de mis trabajos en materia de compresores.

Es ley de la Pneumodinámica, que el tránsito de una densidad á su doble sea una cantidad constante; por lo cual en el sistema policilíndrico-diferencial, en que tiempos y caminos son iguales para cada cilindro, los esfuerzos son los logaritmos de las presiones, y el proceso de la condensacion diferencial está bien representado por un plano inclinado suavemente. La esencia de la invencion ó del mecanismo policilíndrico diferencial, consiste en trasladar á los primeros momentos de la percondensacion gaseosa las enormes resistencias finales propias del sistema monocilíndrico, dada la ley de MARIOTTE.

Cuanto puede hacerse con émbolos sólidos, otro tanto y mucho más es dable ejecutar con émbolos líquidos.

Los émbolos líquidos no requieren aparatos de precision; y los celulares de branquias, trabajando como noria de compresion, no necesitan ¡NI VÁLVULAS SIQUIERA!

Entran por su conjugacion en ley logarítmica, y mejoran la escalonada policilíndrica no diferencial, lo que equivale á obtener una excelente reparticion de las resistencias que el motor deba vencer.

Y tan perfecta puede hacerse la reparticion, que llegue á resultar INVARIABLE la accion de la Resistencia: ¡resultado al parecer incompatible con la ley de MARIOTTE!

Y todo esto se consigue:

Sin sacudidas del líquido compresor, y, sin embargo, con agitacion conveniente de sus capas para igualar la temperatura en todas ellas, y sin movimientos parásitos de su masa;

Con palpitaciones inapreciables en la intensidad de la Resistencia;

Con chorro constante de aire SECO y COMPRIMIDO;

Utilizando el movimiento circular contínuo;

Sin rozamientos desastrosos dentro de las celdas compresoras;

Por la lentitud de la marcha, sin grandes acumulaciones de calor;

Con posibilidad de variaciones en la velocidad;

Con abundantes masas líquidas y extensas superficies metálicas, absorbedoras del calor, y favorables á una abundante irradiacion, capaz acaso de anular por sí sola los efectos perjudiciales de la ley de GAY-LUSSAC, dejando reducido á un mínimum el recurso de la pulverizacion, caso de ser necesaria;

Sin espacios perjudiciales;

Sin ajustes esmerados, sino solo con groseros recipientes constituidos por planchas de reducido espesor;

Con tabiques de mediana resistencia, ó sea de no exagerado grueso;

Sin lubrificaciones onerosas;

Sin órganos delicados;

Sin deterioros constantes que temer, por no existir partes deteriorables;

Sin válvulas;

Sin averías que interrumpan inesperadamente los trabajos y perturben las condiciones económicas de la produccion, toda vez que la constante fuerza de la gravedad es el agente que comprime los gases, los guia por conductos invariables, y los deposita SECOS en sus respectivos almacenes;

Y sin peligros que amenacen la preciosa vida de los trabajadores é ingenieros.

# APÉNDICE AL CAPÍTULO IX.

A pesar de mi deseo de excusar pormenores, no creo poder buenamente prescindir de algunas particularidades.

## I.

Si acaso se quisiera reducir á un mínimum la cantidad de líquido que rodea al globo (cosa absolutamente necesaria tratándose del mercurio, por ser caro), no habria inconveniente ninguno en dar á los globos-almacen la forma de un cilindro abierto lateral é inferiormente, segun la direccion de un plano secante que pasase paralelamente al eje por las generatrices $g$ y $g'$.

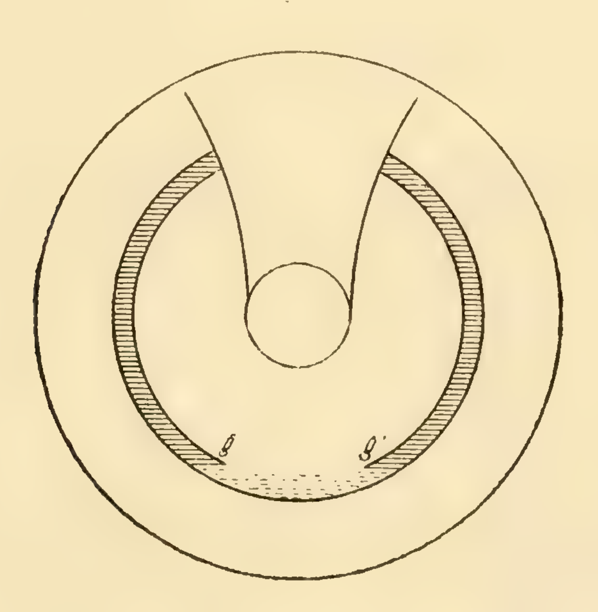



Fig. 160.

## II.

No es necesario, aunque sí aparezca muy conveniente para la construccion, que los tabiques de las branquias laterales sean planos; pueden ser curvos: véase algun modelo.



Fig. 461.

## III.

Parece indispensable que la branquia esté más allá de la celda compresora, afectando las formas ya estudiadas *(figs.* 462 *y* 463) ú otras semejantes.

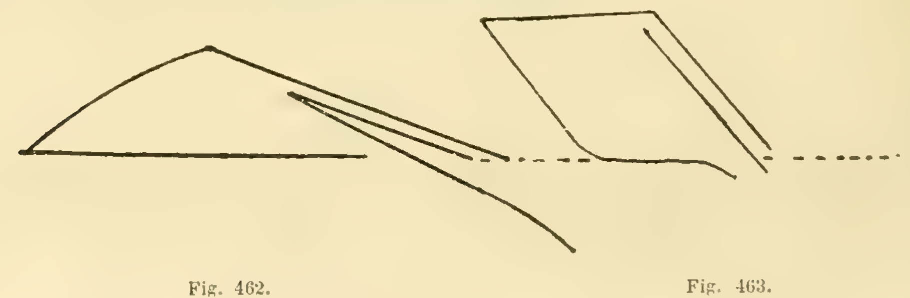


Fig. 462. Fig. 463.

Pero, utilizando una propiedad que nos es ya muy conocida, referente á las columnas múltiples de líquidos y gases, podemos colocar la branquia dentro de su correspondiente celda, adoptando al efecto formas análogas á las que siguen (*figs.* 464 *y* 466 *á* 468).



Fig. 464.

Veamos la razon de estas formas.

Si una celda exagonal tuviese una abertura de salida hácia la mitad de su tabique divisorio, y si, estando llena de aire, la colocásemos dentro de un líquido en la posicion de la *figura* 465, evidentemente el líquido que entrase por *a*, expulsaria el aire por *b*, porque en *a* es mayor que en *b* la presion hidráulica. Solo dejaria el gas de salir cuando el líquido elevase su nivel hasta la misma abertura *b* por encima.

Pero, adoptada la forma (*fig.* 466), el líquido que entrase por *a* comprimiria el gas: éste, si préviamente habia algun líquido en *c*, levantaria la columna *c d* comprimiendo el aire existente en *d e b*, y el gas no podria ya

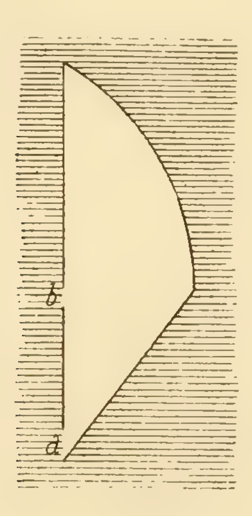



Fig. 465.

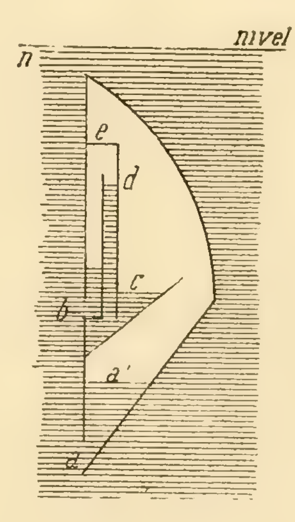



Fig. 466.

salirse si las columnas hidráulicas $n\,b + d\,c$ excedian en longitud á la columna $n\,a'$.

Estudiando el último foro exagonal (*figura* 466), se observa que, á medida que se acerca el período del almacenaje, disminuye la columna $c\,d$ (*fig.* 466), segun manifiesta la *figura* 467.

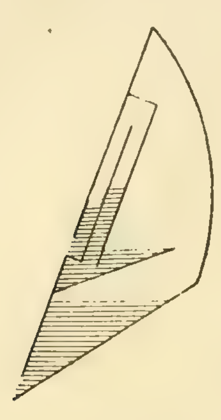


Fig. 467.

De donde se deduce que el período del almacenaje requiere con estos foros exagonales, indicados en la *fig.* 466, casi la misma sagita bajo el globo-almacen que los foros dodecagonales. Propiedad que puede facilitar la construccion de los foros, por ser indudablemente más sencilla la construccion de los de 6 celdas que la de los de 12.

Para que el espacio $c$ tenga agua, y el $d\,e\,b$ de la figura penúltima (466) tenga aire, es indispensable que la construccion se preste á que recoja respectivamente estos fluidos cada celda cuando ocupe la posicion siguiente (1).

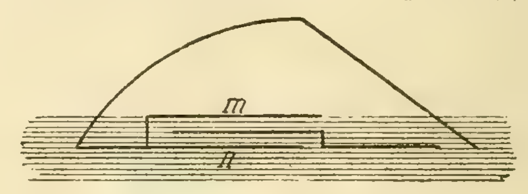



Fig. 468.

De este modo acaso los foros de pocas celdas harian (sin inconveniente) el mismo oficio que los foros de muchas.

## IV.

Los foros de branquias posteriores se prestan á esta modificacion de una manera muy favorablemente especial. (Véase la *figura* 469.) De esta manera podrán utilizarse cargas hidráulicas de poca altura.

## V.

Convendrá que automáticamente, el aire comprimido deje de salir del último foro, cuando la presion fuere menor que la deseada.

Hé aquí un regulador de presion, que me parece de toda eficacia (*figs.* 469 *y* 470).

Cuando la presion sea la préviamente fijada, el aire comprimido que viene por $T$, empujará hácia abajo la lámina flexible de caoutchouc $a\,b$, y el aire saldrá por $T'$.

Pero cuando la presion no sea bastante, la lámina $a\,b$ subirá por la presion del manómetro, y cerrará el tubo $T$.

Mientras el aparato esté en funcion, la lámina de caoutchouc no podrá padecer deterioro, por tener presiones antagonistas casi iguales en cada una de sus caras.

---

(1) Como para no reducir la capacidad del foro, es muy oportuno que esta modificacion ocupe poca altura en el sentido y direccion $m\,n$ (*fig.* 468), puede reducirse esa dimension haciendo que las columnas múltiples de agua y aire se establezcan segun la profundidad foral. Imagínese.

Pero para cuando, parado el mecanismo, solo quedase la presion manométrica por abajo y la ambiente por encima, entonces la lámina habria de descansar contra un tope anular, además de la boca ó circunferencia terminal del tubo *T* (*fig.* 471).

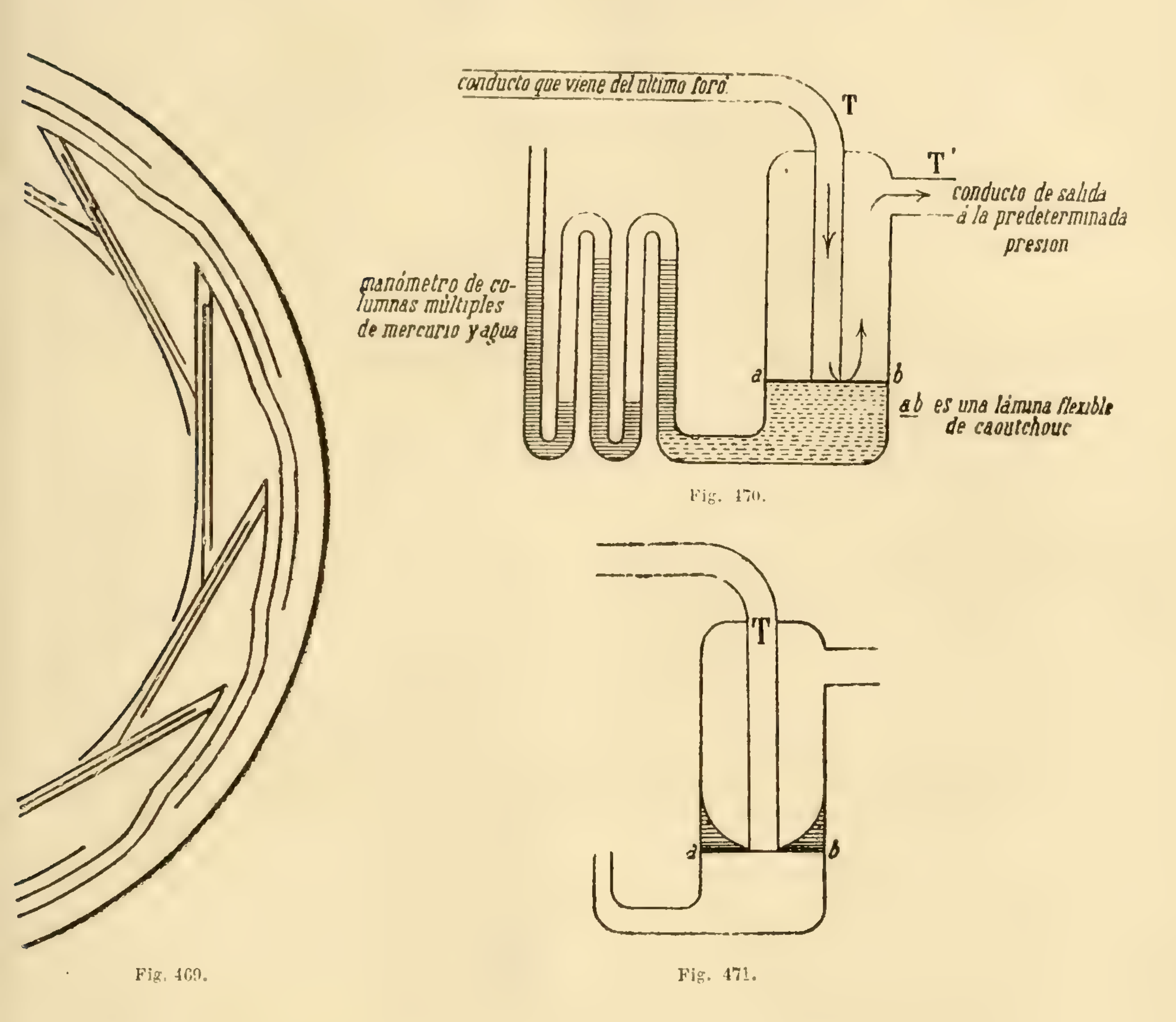



Fig. 470.

Fig. 469.

Fig. 471.

## VI.

Véase otro manómetro de sencillez suma.

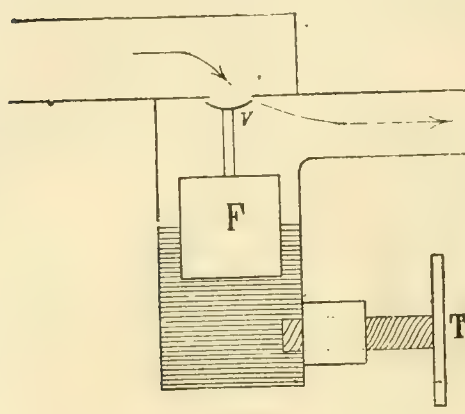



Fig. 472.

Un flotador *F* se halla inmergido en mercurio; y, por causa de la presion hidrargírica, comprime fuertemente la válvula *v* contra su asiento. (El lector supondrá guias, etc.) Cuando la presion marcada por la flecha superior sea mayor que la fuerza ascensional del flotador, el gas abrirá la válvula, y se escapará segun la direccion de la segunda flecha.

Este manómetro puede servir para altísimas presiones. En efecto, supongamos que la superficie de la válvula *v* sea

$= 1$ módulo kilogramétrico;

y que la base del flotador, siendo

$= 50$ módulos kilogramétricos,

esté inmergida en el mercurio, de modo que la fuerza ascensional sea de $50^{k}$. Claro es que solo una presion de $50^{atm}$ sobre *v* podrá hacer hundir el flotador para que se escape el gas. Las relaciones entre la superficie de la válvula, la del flotador y el grado de la inmersion, pueden ser las que se quieran, y, por tanto, las dimensiones ser suficientes para toda clase de presiones.

Si precisara aumentar ó disminuir la fuerza ascensional del flotador, no habria más que hacer entrar ó salir convenientemente el tornillo *T*. Saliendo, disminuiria la inmersion de *F*; entrando, aumentaria.

Este manómetro no indicaria al exterior las presiones. Con la variante siguiente, sí.

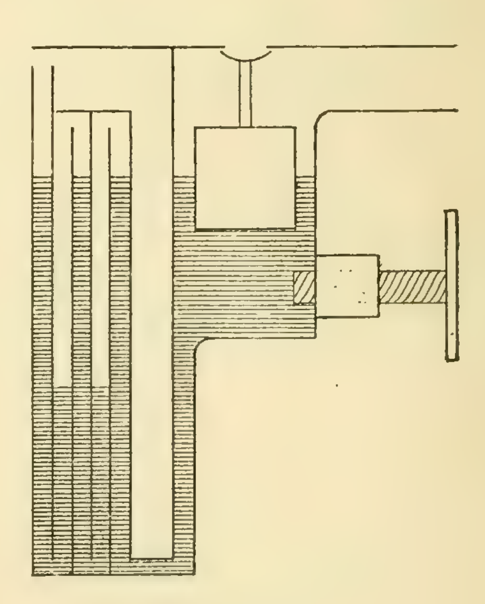


Fig. 473.

## VII.

Pudiera yo extenderme aquí en muchos más pormenores; pero me lo prohibo terminantemente, considerando que no estoy escribiendo una obra de carácter puramente técnico.

Sé muy bien, sin embargo, que los detalles técnicos deciden con frecuencia entre el éxito de una invencion y su fracaso; pero mi objeto es solo contribuir desde mi puesto de combate, bajo las banderas del Progreso, á los triunfos y victorias que, en todos los campos de la industria, van alcanzando las máquinas

sobre las manos, el entendimiento sobre el músculo, la ciencia libre sobre el trabajo servil. El hombre no quiere ya ser máquina, porque sabe hacerlas y regirlas: el hombre no quiere ya ser esclavo, porque sabe esclavizar agentes naturales. ¿Qué no es dable esperar cuando ya la máquina ha logrado penetrar en el país de las manos admirables (en el Celeste Imperio), al cual sacará de su sopor de siglos?

Yo quisiera, pues, entregar á la civilizacion un esclavo más,—fuerte y sencillo,—pero completamente aparejado para toda su vida, y perfecto para desempeñar las funciones de receptor de fuerzas poderosas, transferibles luego á los más minuciosos organismos de elaboracion.

Y quisiera hacer ver (y aun ver yo mismo experimentalmente) que á las ideas teóricas, antorchas iluminadoras de mi senda, no se opone en la práctica ningun caso imprevisto; porque, si tal ocurriera, la teoría era *ipso facto* deficiente. Para mí, no existe el supuesto antagonismo que muchos preconizan entre lo teórico y lo práctico. Teoría y Práctica coinciden; y, cuando nó, es que los principios teóricos han sido precipitada enunciacion absoluta de hipótesis no adventícias, en vez de ser expresion circunscripta y razonada de una resultante concreta, obediente á dos ó más principios que mútua y recíprocamente se limitan y condicionan.

Pero la índole de esta obra no consiente pormenores; y otro escrito *ad hoc*, en donde los detalles sentarian bien, no me es posible, por carecer de conocimientos especiales, y, más que nada, de suficientes medios de ejecucion. Los inventores son regularmente pobres, y pocos casos se cuentan de excepcion. entre los cuales no me encuentro.

Feliz yo, pues, si, estudiando leyes muy comunes y conocidas, he logrado dar con aparatos de sencillez, de manejo fácil y exentos de deterioro; y más feliz aún, si yo, que, como CIALDI, HO MENO IN MENTE DI PERSUADERE CHE DI FAR PENSARE, consigo cautivar y llamar la atencion de los entendidos, y aun de los Hombres de Genio, hácia medios no costosos que, además de sus ventajas mecánicas, no habrán de sujetar á enorme perturbacion, ni aun temporalmente siquiera, grandes intereses creados sin injusticias — y por tanto muy respetables— ni dislocarán las condiciones económicas de la época, como ha sucedido en otros tiempos con muchas y benditas invenciones.

# PARTE TERCERA.



## TRANSFORMACION

DE LA

## FUERZA DEL MAR EN AIRE COMPRIMIDO.

# LIBRO I.

---

## ADQUISICION DE LA FUERZA DEL MAR.

# CAPÍTULO I.

## APROVECHAMIENTO DEL AGUA MOTRIZ DE LA MAREA Y DEL OLEAJE.

---

### I.

Hácia las páginas 122 y siguientes, expuse, en general, el modo de utilizar la fuerza de los mares, por medio de

Una gran ensenada,

Un estanque rompe-olas,

Y una dársena, donde se estableciesen con seguridad los aparatos receptores.

Como no era posible dar entonces á conocer los aparatos que hemos estudiado últimamente, debí prescindir allí de entrar en los correspondientes pormenores.

Puesto que se va á aprovechar la fuerza del mar en comprimir aire, el motor marino debe ajustarse á las exigencias de los aparatos compresores.

Ya puedo llenar aquel vacío; y los conocimientos que debo ahora suponer en el lector, me permiten excusar explanaciones detenidas, y me invitan á reducirme al menor posible espacio.

### II.

Conviene recordar que son dos los orígenes de fuerza motriz utilizable á orillas de los Océanos:

Las mareas;

Las olas (1).

Recordemos asimismo que en la dársena entra el agua de la marea por medio de un canal *ad hoc*, y el agua de las olas por medio de otro canal; y

---

(1) Estas solamente en los Mediterráneos y los grandes lagos.

que el líquido de ambas procedencias no sale de la dársena sino despues de atravesar los receptores, desaguando unas veces en la gran ensenada y otras en el Océano.

Recordemos tambien que compuertas complementarias, abiertas en los últimos momentos de la creciente, permiten la completa inundacion de la ensenada en el menor tiempo posible, hasta ponerse el agua del interior al mismo nivel de la pleamar oceánica; y que, en los últimos momentos de la menguante, esas mismas compuertas dan salida en breve tiempo á toda el agua interior, para que la ensenada se ponga al nivel de la bajamar.

Recuérdese, por último, que hay 2 casos que examinar:

Que no haya oleaje ni en la creciente ni en la menguante;
Que lo haya.

III.

Para ahorrar en lo posible explanaciones, voy á evidenciar la solucion en cada caso por medio de dibujos simbólicos, donde, por via de sencillez, tubos y válvulas representarán canales y compuertas.

Además, como el agua represada no ha de salir de la dársena, sino despues de atravesar los receptores de la fuerza del mar, séame lícito simbolizar á estos por medio de la *figura* siguiente (174), cuya justificacion vendrá despues.

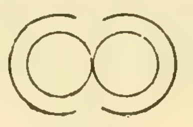


Fig. 174.

CRECIENTE.

**No hay oleaje mientras la marea sube.**

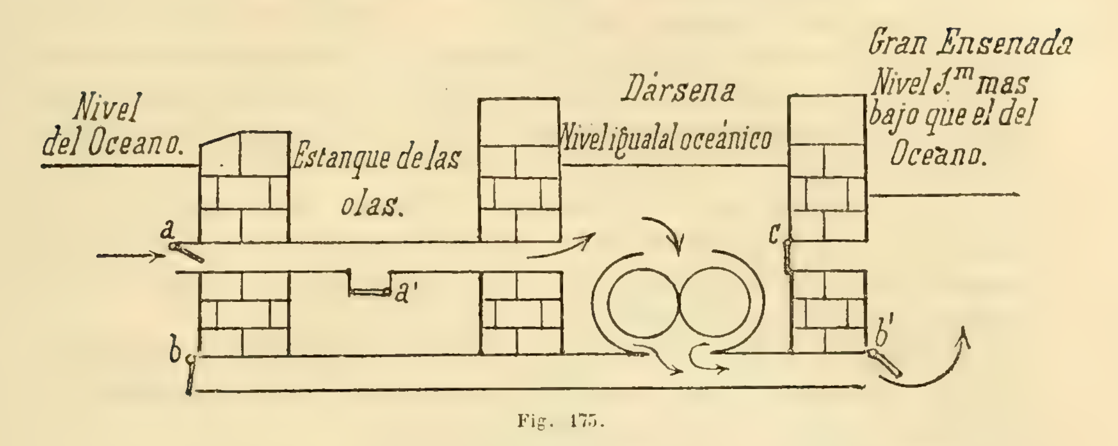



Fig. 175.

Siendo mayor en *a* que *a'* la presion hidráulica, la válvula *a* está abierta, y cerrada la *a'*. Por la misma razon está cerrada *b* y abierta *b'*: tambien cerrada *c*.

Por canales no indicados va pasando el agua desde la gran ensenada al estanque de las olas.

MENGUANTE.

**No hay oleaje mientras la marea baja.**

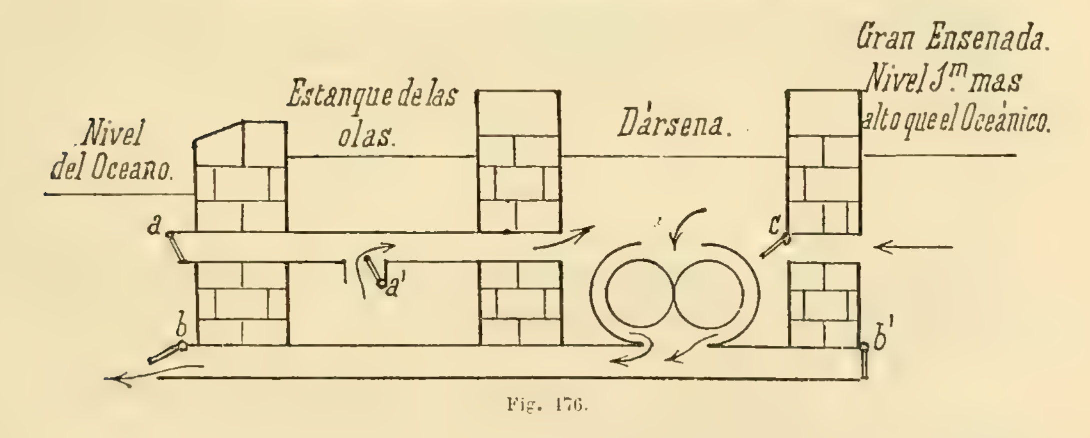



Fig. 176.

Algun tiempo despues de iniciada la menguante, tendremos $1^m$ más alto el nivel de la ensenada y el del estanque de las olas que el del Océano.

Se supone tambien lleno el estanque de las olas desde la ensenada por canales no indicados.

Por causa de mayor presion están cerradas las válvulas *a*, *b'*, y abiertas las *a'*, *b* y *c*.

Tanto á la creciente como á la menguante, funcionarán los receptores así que haya $1^m$ de desnivel, bien entre el Océano y la dársena, ó bien entre la dársena y el Océano. Luego veremos el cómo.

El Océano hace de estanque motor durante la creciente, yendo, por medio del receptor, á desaguar su flujo en la ensenada. A la menguante se cambian los papeles, y la ensenada se convierte en estanque motor, desaguando su líquido en el Océano tambien por el intermedio de la maquinaria receptora de la fuerza de la marea.

Así, pues, las expresiones *estanque alto* y *estanque bajo*, constantemente usadas en el curso de esta obra, no se refieren en absoluto ni al Océano ni á la ensenada, sino á la capacidad que, en el turno periódico de sus funciones, tenga sus aguas á nivel más elevado.

Inmóviles los receptores mientras no haya altura bastante para hacerlos funcionar, impedirán el tránsito del agua motriz desde el estanque alto al estanque bajo, como si fueran compuertas verdaderas.

Siendo (página 581) invariable la resistencia de los aparatos compresores, los receptores necesitan, para hacerlos funcionar, una potencia tambien invariable (y algo superior para vencer rozamientos).

No bastará, pues, que el agua del Océano (ó la de la ensenada y la dársena en su caso) tenga una mayor altura cualquiera que la del estanque bajo. Es necesario que esa mayor altura, además, sea, por lo ménos, igual á 1 metro (por ejemplo) para que sobre los receptores actúe la presion indispensable á vencer la resistencia.

Ahora bien: los receptores estarán siempre parados mientras la diferencia entre el estanque motor y el de desagüe no llegue á ser de 1 metro (1); y se pondrán en marcha automáticamente en cuanto la diferencia haya alcanzado esa longitud.

## IV.

Supongamos ahora que hay oleaje, y que, por su causa, se levanta el nivel del estanque de las olas sobre el nivel del Océano.

Pueden ocurrir 2 casos:

1.º Que el oleaje sea tan excepcional y violento que, por sí solo, baste para surtir de fuerza motriz la maquinaria;

2.º Que no baste.

---

(1) Si esa es la carga predeterminada.

Veamos la variante primera.

Si la marejada, saltando por encima del malecon rompe-olas, suministra agua motriz en cantidad tan considerable como se necesite para establecer permanentemente el desnivel de $1^{m}$, calculado para que se pongan en marcha los receptores, ó mas aún, entonces nos resultará lo que representa la *figura* siguiente (477).

CRECIENTE Y MENGUANTE.

**Marejada excepcional, capaz de mover por sí sola los receptores.**

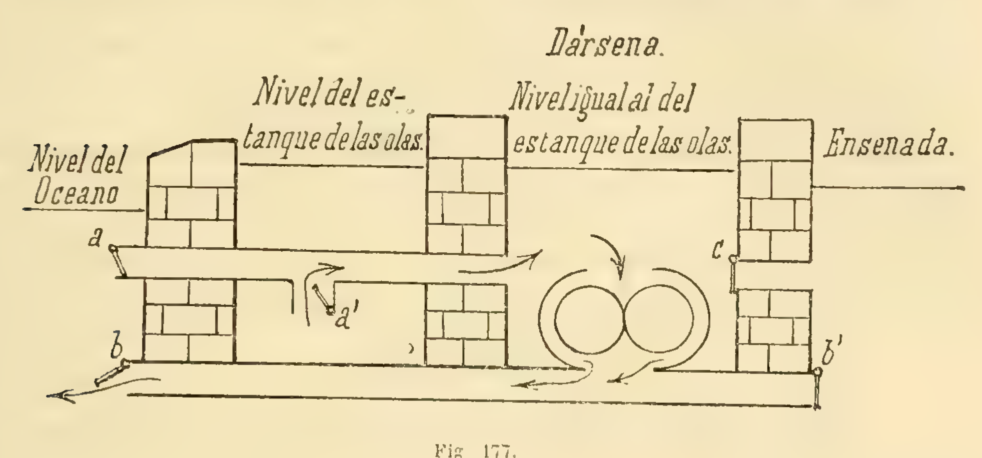



Fig 177.

En este caso excepcional, los receptores estarán trabajando sin intermitencias, porque ni á la creciente ni á la menguante habrá que aguardar á que se establezca el metro de altura, toda vez que, por hipótesis, lo suponemos.

Las válvulas *a'* y *b* estarán abiertas, cerradas *a* y *c*, é indiferente *b'*, ó bien, cerrada no automáticamente sino por órden de los ingenieros.

En este caso, al aproximarse la época de las cuadraturas ó de las mareas muertas, pudiera represarse el agua de la ensenada, para luego trabajar con ella durante el aguaje escaso, si llegaba á disminuir la violencia del oleaje.

Y si la masa suministrada por el oleaje fuese en cantidad mayor que la necesaria para hacer marchar los receptores, no cabiendo ya más líquido en el estanque de las olas, por no tener su malecon más de 4½ metros ó 5 de altura sobre la mínima bajamar, entonces rebosaria el sobrante en el Océano por los bordes del mismo malecon.

Este sería el sistema de circulacion contínua indicado pág. 124.

Durante la creciente ascenderian paralelos, sensiblemente, los niveles del Océano y del estanque; y, mientras la menguante, descenderian de la propia manera.

Y donde no existan las mareas, ó sean insignificantes, como en el Medi-

terráneo, el nivel del mar no estaria sujeto á alzas ni bajas sensibles, pero el resultado sería el mismo.

V.

No siempre, sin embargo, el oleaje ha de ser tan violento, que él solo baste (y aun sobre) para hacer funcionar los receptores de la fuerza del mar.

Estudiemos ahora el otro caso, el cual comprende la gran mayoría de los que con el oleaje pueden ocurrir: el de que la marejada haga subir alguna cosa el agua del estanque de las olas, pero no lo suficiente á mantenerlo sin cesar 1$^{m}$ más alto que el nivel del Océano.

Pueden ocurrir 2 sub-casos:

1.° Que esto suceda durante la creciente;

2.° Que ocurra mientras la menguante.

Empecemos por este último, que es el más fácil.

Iniciada la menguante, el nivel de la ensenada y de la dársena estará más alto que el del Océano. Si entonces las olas elevasen el nivel del estanque de las olas, podríamos:

1.° O bien, como regla general, aumentar con sus aguas las de la ensenada y de la dársena;

MENGUANTE.

**Oleaje incapaz de mover los receptores por sí solo.**

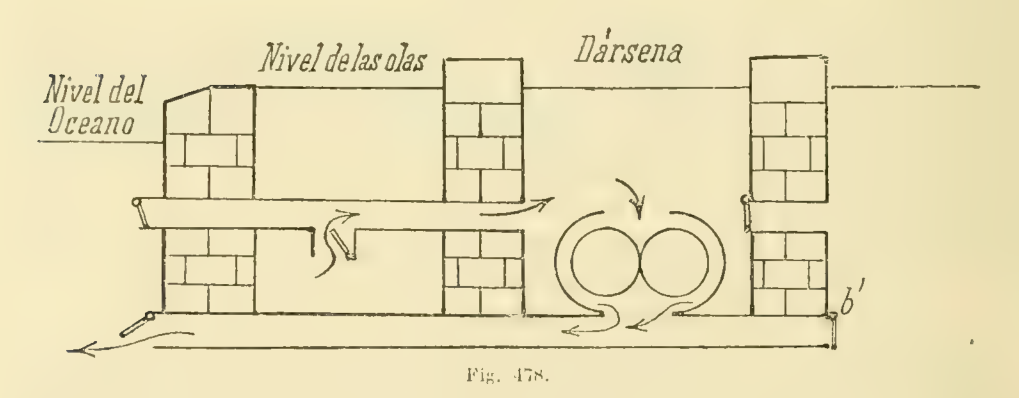



Fig. 478.

2.° O bien, si con lo que ya ha bajado el Océano y lo que ha subido el agua del estanque rompe-olas, se ha establecido el desnivel de 1$^{m}$, dejar marchar la maquinaria mientras haya suficiente presion, sin gastar para nada el líquido que en la ensenada haya existente, sino cuando, habiendo bajado más aún el Océano, tengamos 1$^{m}$ de diferencia entre su nivel y el de la ensenada.

En este segundo caso, sería necesario que se cerrase mecánicamente (no automáticamente) la válvula *b'*.

Vamos al primer sub-caso: que el oleage se haya de aprovechar á la creciente.

Representémonos el momento de la bajamar, ó, lo que es lo mismo, el del inicio de la creciente. Y, para fijar las ideas, supongamos esto en una marea de $3^m$.

Como entonces el mar solo sube ½ metro por hora, habria que aguardar, si no hubiera oleaje, todo el espacio de 2 horas para que el Océano elevase naturalmente su nivel $1^m$ más alto que el de la vacía ensenada; pero habiendo oleaje, ocurrirá que el nivel del estanque de las olas estará más alto que el del Océano; y, si á la hora y media, v. gr., de iniciada la creciente hay en el estanque de las olas ¼ de metro más de elevacion que en el Océano, los receptores se pondrán en marcha por sí mismos ½ hora antes de lo que, sin marejada, lo habrian podido hacer: es decir, que en vez de aguardar 2 horas y trabajar 4 durante la creciente, solo habrán aguardado $1^h,5$ para trabajar 4,5.

CRECIENTE.

**Oleaje incapaz de mover los receptores por sí solo.**

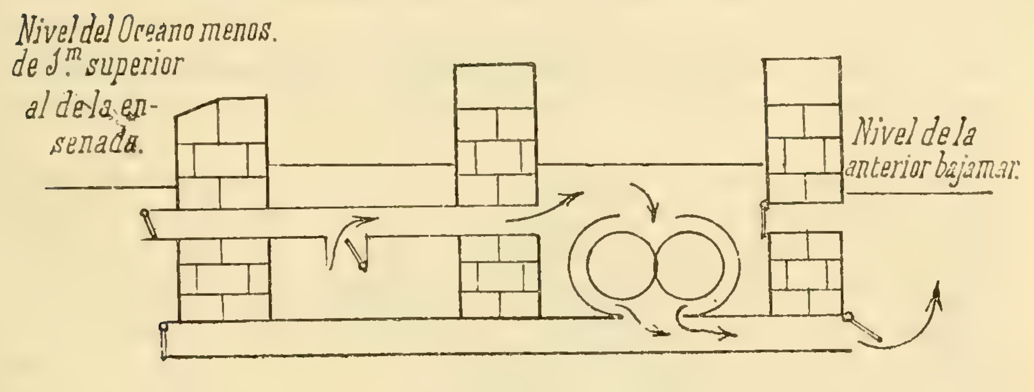



Fig. 179.

En este caso tendria que ser cerrada mecánicamente, no automáticamente, la válvula *b*.

Lo peor que podria suceder es que repentinamente el mar se serenara, y que el oleaje dejara de elevar sobre el nivel de la marea el nivel del estanque. Aun en este caso nada se habria perdido: los receptores se pararian á media creciente, y tendrian que aguardar á que el nivel del Océano se alzase $1^m$ sobre el nivel de la ensenada. Entonces aguardarian lo que, caso de calma, debieran haber aguardado al iniciarse la pleamar.

Pero no habria inconveniente en proceder de otra manera, adoptando el sistema de incomunicar la dársena y el estanque de las olas durante toda la

creciente, y mover la maquinaria con el agua del Océano como en los dias de perfecta calma.

Solo habria esta diferencia.

Despues de inundar en breves momentos por medio de las compuertas suplementarias, en los últimos momentos de la creciente, tanto la dársena como la ensenada, se podria hacer una de dos cosas:

1.º O bien agregarles el líquido (superior al nivel del Océano) existente en el estanque de las olas, por cuyo medio no habria á la vaciante tanto tiempo de huelga en los receptores;

2.º O bien el estanque de las olas, incomunicado con la ensenada, moveria por sí solo las máquinas en cuanto entre él y el Océano hubiese $1^m$ de desnivel. Por este medio trabajaria el estanque hasta que su nivel quedase al nivel de la ensenada, y la huelga de los receptores sería mucho menor.

## VI.

Basta con lo expuesto. Solamente quiero agregar 3 detalles:

Es lo primero, que cuando hubiere mucha agua motriz, los receptores gastarán enormes cantidades, caminando con más velocidad; y que, cuando hubiere poca, consumirán ménos, acortando la velocidad.

Abandonados los aparatos á sí mismos, marcharán constantemente cuando hubiere agua bastante para mantener el desnivel de $1^m$, y se pararán automáticamente cuando, por no haber líquido bastante, ó por haberse gastado mucha cantidad, disminuya la altura de ese desnivel, etc.

Es lo segundo, que las compuertas de los canales funcionarán tambien automáticamente, excepto en los momentos de la pleamar ó de la bajamar, cuando en poquísimo tiempo haya de anegarse ó vaciarse la ensenada, y los demás depósitos, por medio de las compuertas suplementarias.

Es lo tercero, que para estos servicios bastará un personal mucho ménos numeroso de lo que á primera vista pudiera pensarse, si no tuviéramos aire comprimido á nuestra disposicion.

Pero, como nuestra factoría no tiene más objeto que almacenar la fuerza del mar, percondensando el aire, podremos siempre desde considerables distancias, efectuar todos los trabajos que necesitemos, abriendo desde las oficinas, contíguas á la dársena, las llaves ó los registros destinados al efecto, por lejanos que esten.

## VI.

Los demás pormenores, puramente técnicos, no corresponden á una obra como esta, de ideas generales. Por otra parte, son tan fáciles de imaginar y descubrir, que cualquier ingeniero, solo tendria que vencer la dificultad de una eleccion.

# CAPITULO II.

## APROVECHAMIENTO DE LA FUERZA MOTRIZ DE LAS OLAS.

### I.

La utilizacion del oleaje requiere órganos especiales y *ad hoc*.

Es sin duda secundaria esa utilizacion en los Océanos de potentes mareas; pero puede ser un gran recurso donde no las haya, ó donde y cuando los aguajes alcancen muy poca altura.

Convertir un movimiento en otro, es acaso la idea más espontánea en mecánica, á pesar de que pocas veces sea la más fácil. Así, muchos son los proyectos, estérilmente publicados, para aprovechar el oleaje como fuerza motriz. Los sistemas de flotadores me parecen completamente inadecuados: podrian servir cuando ligeras undulaciones agitasen las aguas; pero serían indefectiblemente destruidos en los dias de mar brava.

De entre los demás sistemas, me parece de sumo interés el del Sr. Ruiz (á que me he referido en el *Apéndice* á la Introduccion).

Hé aquí un croquis de la idea.

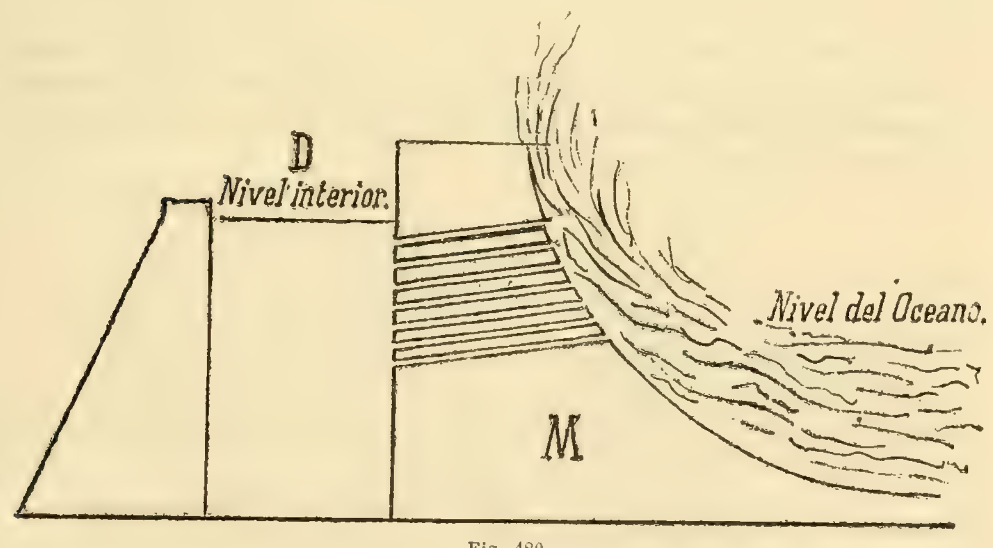



Fig. 480.

Un malecon *M* recibe las olas: este malecon está atravesado por varios conductos que terminan en válvulas, por la parte interior *D*. Cuando la ola es detenida, sube el nivel exterior, abre las válvulas y entra agua en el depósi-

to *D;* mas, cuando la ola se retira, las válvulas se cierran, y el agua que entró en el depósito queda represada y á mayor altura que el nivel medio del mar. Teniendo ya agua en alto, fácil es utilizarla....., etc.

II.

Contra este plan ingenioso, nada ciertamente habria que objetar, si existiesen materiales de resistencia indefinida. Pero pensar para resistir el empuje de enormes masas de agua en los géneros de válvulas conocidos, casi me parece prueba de no haber visto jamás los embates de una mar excepcionalmente embravecida. Cualquiera de las válvulas hoy en uso, abierta repentinamente, ó de golpe contenida, obraria en los dias de tormenta como un ariete incontrastable contra los desdichados malecones en que se la hiciese funcionar.

Sírvase el lector recordar los formidables efectos destructores de las olas, registrados pág. 157 y siguientes.

Dado el ingenio y la inventiva que revela el malecon-Ruiz, es de pensar que el autor hubiese imaginado válvulas especiales para remediar la, en mi juicio, evidente ineficacia de los poco resistentes medios prácticos empleados en la actualidad (que de ningun modo considero imposible el descubrimiento de nuevas válvulas, adecuadas al intento, con forma y condiciones hasta ahora no descritas, ó, por lo ménos, no llegadas á mi conocimiento todavía).

III.

Tanto miedo he tenido á los formidables embates de los dias de temporal, que hasta para los parajes relativamente resguardados, como son la dársena y sus canales, he creido necesario idear compuertas, sobre las cuales no obren como ariete las ondas en movimiento.

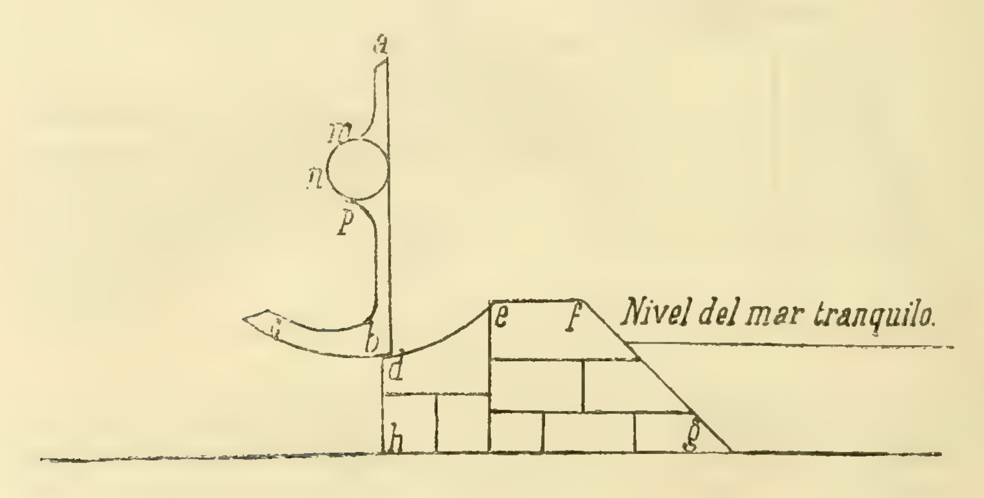



Fig. 181.

Sobre 2 poderosísimos muñones *m n p* (*fig.* 481) del lado de acá del plano del papel, y del lado de allá *m' n' p'*, que constituyen un eje horizontal (perpendicular al plano del papel), está suspendida la compuerta *a b c*.

*d e f g h* es un perfil del malecon.

Cuando venga la ola, ó bien cuando haya desigualdad de niveles entre el canal y la dársena, la compuerta tomará la posicion siguiente (*fig.* 482).

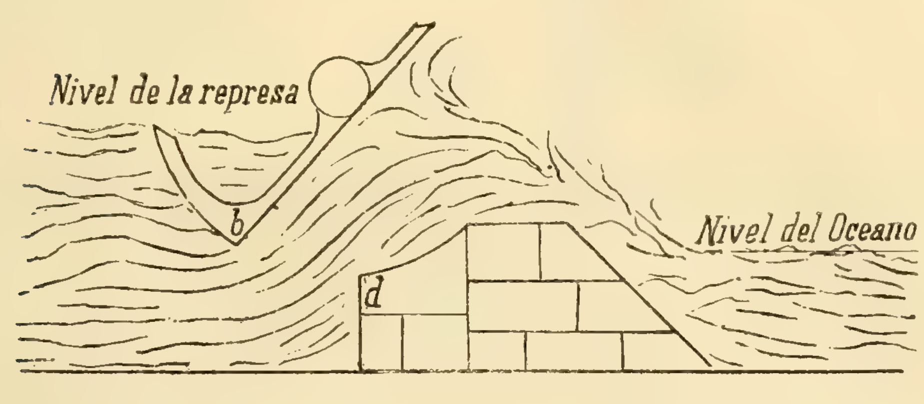



Fig. 482

Y el agua entrará en la dársena, segun marca la *figura* 482, hasta igualarse el nivel interior con el de la onda exterior. La entrada del agua será *b d*, abra variable segun la intensidad de la corriente.

Pero cuando el nivel interior resulte más alto que el exterior, tendremos lo que sigue (*fig.* 483).

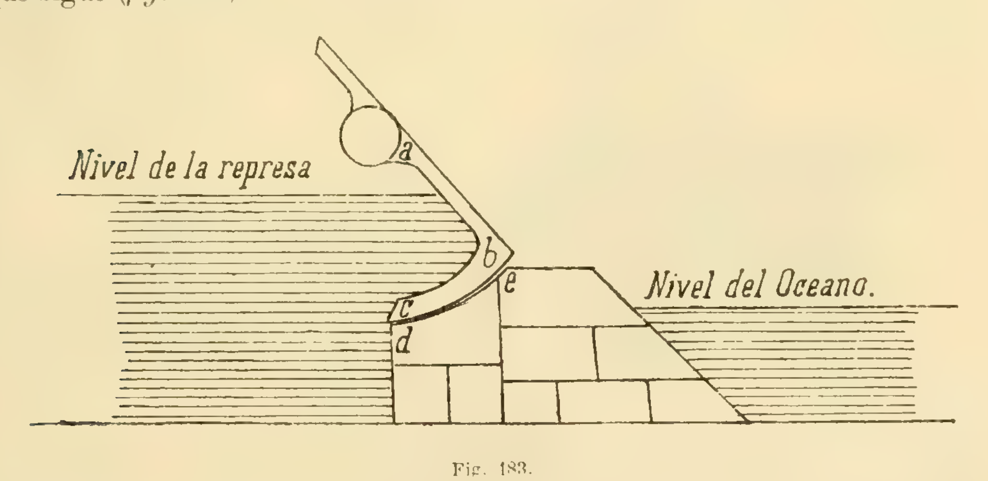



Fig. 483.

Y, como se ve, el agua solo podrá escaparse por el pequeñísimo espacio remanente entre la zapata *c b* y el malecon *d e*, y entre los lados *a b* y *a' b'*.....

Y, como á medida que se exajere la inclinacion de la compuerta, será mayor la resultante de su gravedad, tendremos que las variaciones de la incli-

nacion corresponderán con las variaciones de la diferencia de niveles, presentándose mayor contencion, á medida que aumenten las diferencias (1).

La siguiente compuerta puede estar construida de tal modo, que se halle en equilibrio cuando el plano se ponga vertical (*fig.* 484).

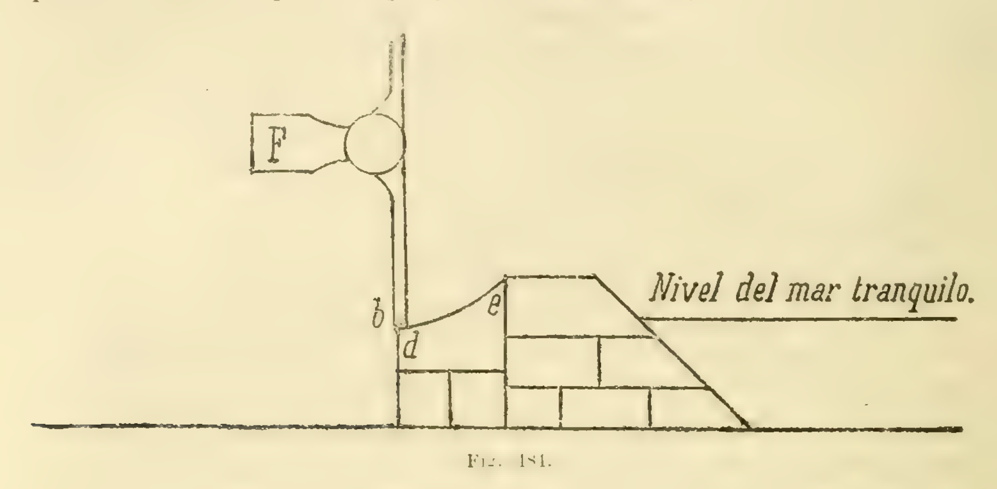



Fig. 484.

En tal caso, pequeñas diferencias de nivel ó de presion la harian oscilar, lo que daria mucha sensibilidad al aparato. Esto fuera acaso inconveniente en las grandes presiones interiores; para evitar las cuales serviria el contrapeso ó flotador *F*, si entraba en el agua del estanque alto cuando la parte *b* ascendiese por la rampa cilíndrica *d e* del malecon (*fig.* 485).

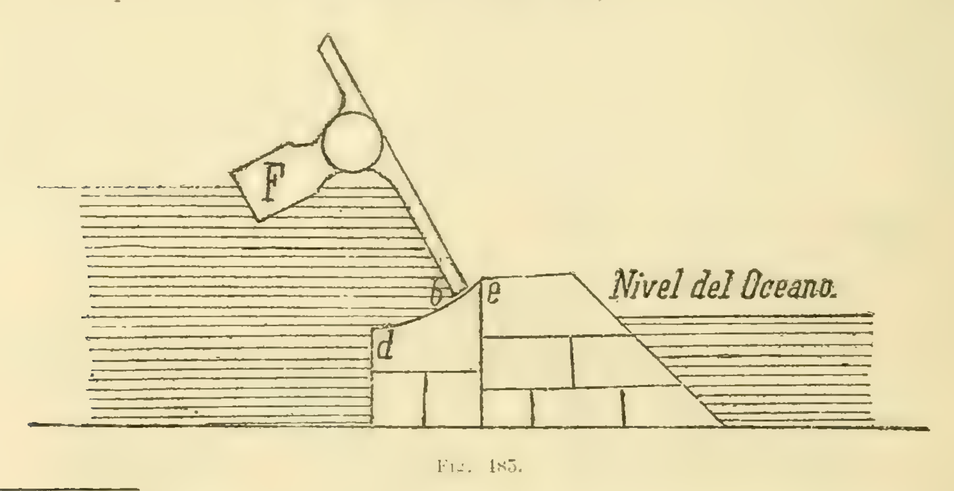



Fig. 485.

(1) Para el malecon-Ruiz tal vez convendrian estas compuertas, empleadas como válvulas de volteo. Pero, aunque ellas cedan al empuje del oleaje, y giren sobre sus muñones al retirarse las olas, me parece, sin embargo, que los exagerados temporales oceánicos las habrian de inutilizar.

Acaso no será esto de temer en los canales y la dársena, porque allí, por terrible que sea la agitacion del mar, y por grande que en los canales resulte la velocidad conservada, las masas marinas habrán de obrar más por presion que por impacto (si no es que en el zigzag de los canales queda completamente anulada toda la violencia de los choques).

Los soportes de estos aparatos no deben hallarse empotrados en los muros, porque los deteriorarian: deben ser *self-standing*, de fundicion, y del peso de muchas toneladas.

Hecha esta digresion sobre las compuertas, acaso demasiado técnica, paso á indicar el medio que me parece más eficaz y seguro para utilizar el precioso recurso de las olas de todos los mares, así de los de mareas como de los que de ellas carecen.

## IV.

Por de pronto haré notar que en los grandes aguajes y grandes marejadas, detenidas las moles líquidas repentinamente por el malecon rompe-olas, saltarán por encima de él, si solo tienen (en España) $4^{m},5$ de altura, y llenarán el estanque á un nivel mucho más elevado que el nivel medio del mar.

Pero ¿cómo aprovechar las olas cuando no esté la mar muy picada ni haya grandes aguajes? ¿Por qué no ha de pasar de $4\frac{1}{2}$ ó $5^{m}$ la altura del malecon? ¿A qué someterse á condiciones de altura en la escollera rompe-olas?

## V.

Hasta para triunfar de las dificultades anteriormente enumeradas, se presenta irreemplazable el aire comprimido (dado caso que la rabia de las olas tempestuosas y huracanadas se deje de alguna manera dominar).

Sea un malecon construido de grandes sillares, cuyo interior resulte como sigue *(fig. 486)*.

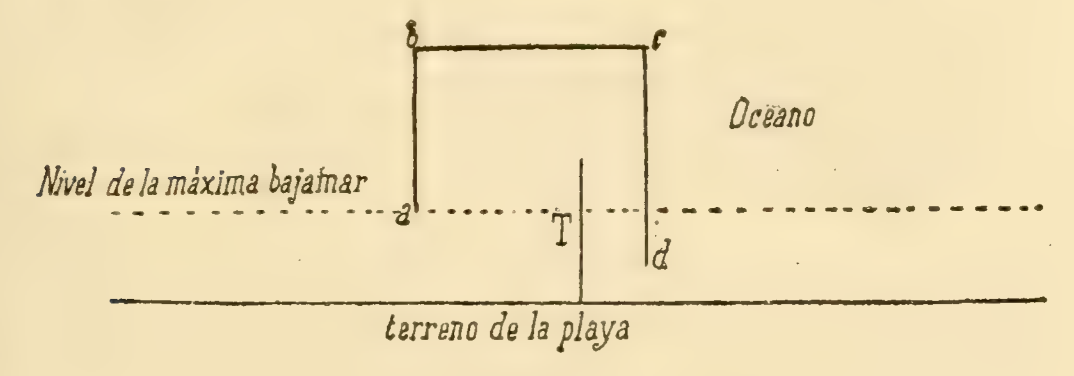



Fig. 486.

Pilares no dibujados sustentan por $a$ y por $d$ la caja de aire $a\,b\,c\,d$, donde $c\,d > a\,b$. Un tabique $T$ se eleva desde el fondo por el interior de la caja de aire $a\,b\,c\,d$, segun marca la *figura*.

Supongamos que no hay oleaje, y que ha subido la marea. Entonces tendremos á igual altura el agua en el Océano y en la dársena (donde habrá el líquido ido entrando durante la creciente por el respectivo canal). Pero, por causa de la compresible impenetrabilidad del aire, solo habrá subido el nivel en la caja *a b c d*, lo que permita la compresibilidad gaseosa, conforme á la ley de MARIOTTE *(fig.* 487*)*.

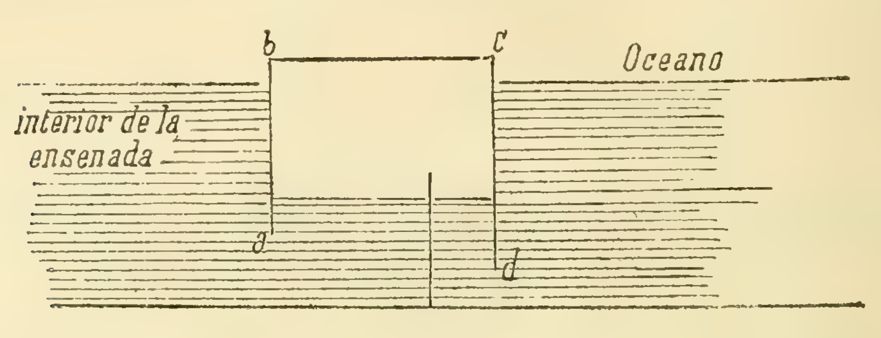



Fig. 487.

Ahora bien: supongamos la existencia de un oleaje cualquiera, suave ó duro; y, al ser detenida bruscamente la ola por el malecon *cd (fig.* 488*)*, subirá el nivel del Océano; y, en virtud de la velocidad adquirida, penetrará agua en la caja de aire *a b c d*, por el rectángulo *d*.

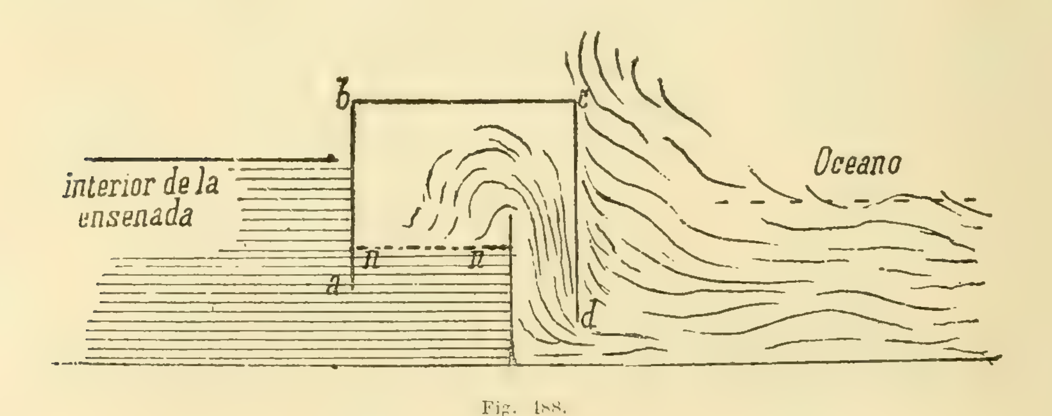



Fig. 488.

El agua que por *d* entra en la caja de aire, rebasará el tabique interior, y caerá al otro lado, elevando el nivel *n n*. Pero la elasticidad del aire interno, súbitamente recondensado por el ingreso del agua de la ola, hará en el acto entrar en la ensenada el líquido que caiga sobre el nivel *n n*. Las masas líquidas que en tal caso se encuentren, pasarán por el rectángulo *a* al interior de la ensenada. El nivel de ésta necesariamente se elevará, y tambien resultará elevado algo *n n*, lo que corresponda segun la ley de MARIOTTE.

Y, retirada la ola, tendremos *(fig. 489)*:

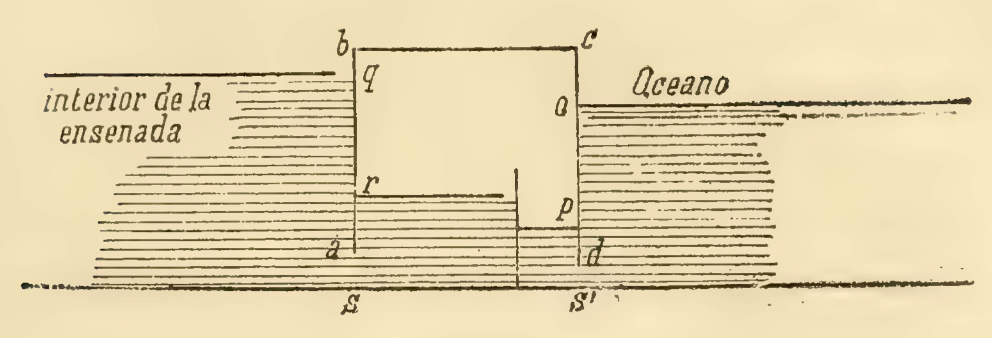



Fig. 489.

Donde $qr = op$,
Y $qs > os'$.

El agua, en el interior de la ensenada, no podrá ya salir, por impedirlo la impenetrabilidad del aire existente dentro de *abcd*.

VI.

Claro es que, para tener una caja de aire incapaz de ser movida por los mares huracanados, se necesita una obra hidráulica de consideracion, pero nada difícil.

Me parece que el malecon rompe-olas ofrecería toda clase de seguridad, hecho con arreglo á las dimensiones siguientes (1) *(figs. 490 y 491)*.

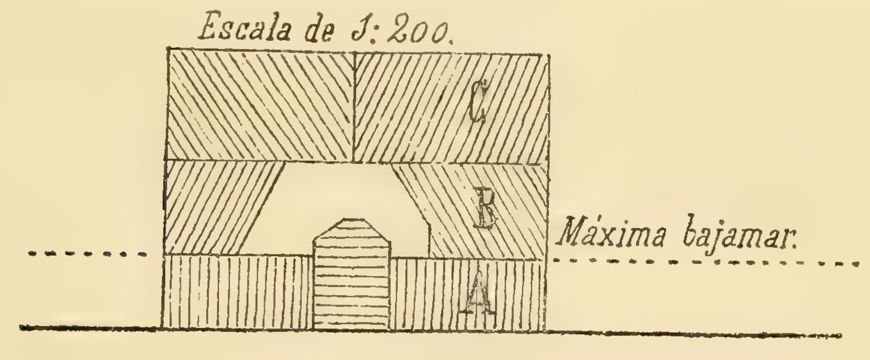



Fig. 490.

(1) Entre los ingenieros ingleses es comun el usar bloques de 20 á 30 toneladas para rompe-olas. En las tranquilas aguas de Liffey se han usado bloques de más de 300 toneladas. En las canteras de Rockport, en la punta extrema de Cap Ann, en la costa de Massachusets, se laborean sillares de 25 y más piés de longitud. En Dublin se estan colocando de 29 piés ingleses de alto, 21 piés 4 pulgadas de ancho, y 11½ piés de largo: pesan 350 toneladas.

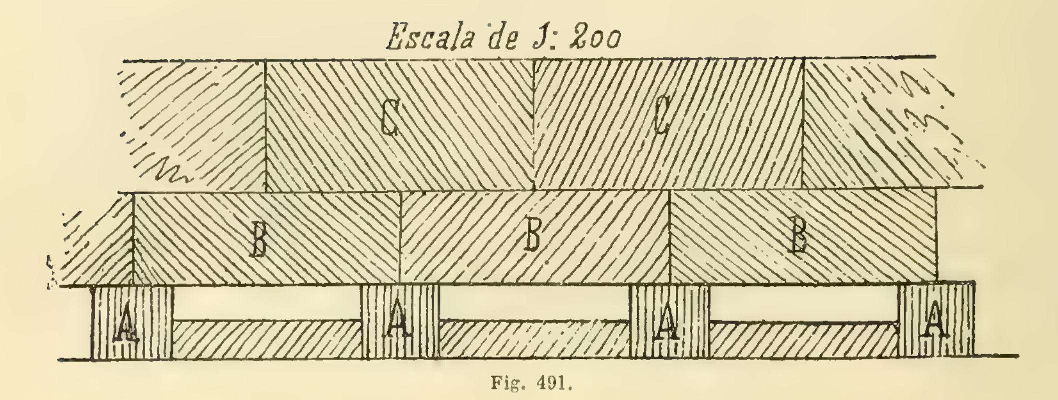



Fig. 491.

VII.

Y no solo en el Océano, sino en cualquier mar interior (como, por ejemplo, en el Mediterráneo) y en los puntos donde los desniveles de las mareas sean poco considerables, puede recogerse y utilizarse de este modo la accion de los vientos que pone en agitacion perpétuamente la superficie de las aguas; exceptuando las intermitencias de los hermosos dias serenos en que el viento parece reposar.

Estas intermitencias que, en los países favorecidos por tiempos bonancibles, suelen ser de larga duracion, es el único inconveniente que puede presentar el aprovechamiento de las olas.

En efecto; si las olas fueran un fenómeno constante y de idéntica intensidad, no interrumpido jamás por gloriosos dias de calma, nada más fácil que establecer un sistema de circulacion contínua de agua motriz, procediendo como sigue:

1.° En un estanque adecuado que sobresaliese poco del mar, entraria el agua al estrellarse en los malecones al efecto construidos;

2.° Así se tendria siempre un depósito de agua, cuyo nivel estaria permanentemente á mayor altura que el del mar;

3.° El agua de este depósito se dirigiría á aparatos sumergidos, que se pondrian en movimiento con la presion consiguiente á la diferencia de los niveles interior y exterior;

4.° Despues de pasar por la maquinaria poniéndola en movimiento, el agua motriz volveria al mar.

Y así sucesivamente (1).

No habrá acaso medio más sencillo y ménos costoso de utilizar el oleaje, donde quiera que no hubiere mareas, ó mareas utilizables.

Verdad que este sistema holgaria en los dias de calma; pero ¿acaso los inventores de flotadores y palancas imposibles contaban con una série perpétua de dias de tempestad?

---

(1) Por de contado que, conforme con el objeto de estos libros, la maquinaria se ocuparia en comprimir aire.

# LIBRO II.

## RECEPTORES DE LA FUERZA DE LOS MARES.

# CAPITULO I.

## PRELIMINARES.

---

I.

Ya sabemos el modo de obtener desniveles de agua marina procedente de las mareas, ó de las olas, ó de las mareas y las olas.

Ahora bien: ¿cómo han de ser los receptores que utilicen la potencia dinámica de estos desniveles?

Desde luego ocurre que los receptores han de ser adecuados al trabajo en que luego hubieren de transformar la fuerza primitiva; y, como la fuerza del mar ha de emplearse (segun pretende esta obra) en comprimir aire, claro es que las cualidades de los compresores han de determinar las propiedades que deban tener los aparatos de recepcion.

De aquí el que, antes de tratar de estos, haya sido necesario el estudio de los medios de comprimir; y que, no obstante el ser lo primero en importancia el conocimiento de cuanto se refiere á la fuerza motriz, haya tenido prelacion, en el órden cronológico, la enumeracion de los mecanismos más adecuados para llevar á cabo un trabajo concreto y especial (como lo es el de la percondensacion gaseosa).

II.

Los compresores de aire estudiados en la Parte II de esta obra pueden clasificarse, para lo que ahora vamos á discutir, en 2 grandes clases:

Aparatos de resistencia creciente;

Aparatos de resistencia constante.

En general, pueden mirarse como de resistencia creciente, no solo los aparatos de los émbolos diferenciales conjugados, sino tambien los foros simples y los helicoidales; y como de resistencia constante, los dobles foros dodecacelulares del sistema branquial.

III.

Los motores, pues, de tales compresores, parece que deben acomodarse á esta clasificacion, por lo cual, á primera vista, resulta que necesitamos:

Receptores, de poder creciente;

Receptores, de poder constante.

Tal vez se diga que, encontrado el *desideratum* de la mecánica en los foros celulares, por ser compresores de resistencia constante, es ya inútil buscar motores de poder creciente, pues, en hallando un motor de poder constante, habremos obtenido cuanto podemos apetecer.

La objecion en su fondo es pertinente; y desde luego debo repetir, que creo organismos mucho más ventajosos y eficaces que los émbolos conjugados, los aparatos branquiales; y, siendo los foros, en mi juicio, mucho más convenientes que los cilindros, á ellos, y no á estos, habré de dar naturalmente la primacía para recoger en aire comprimido la fuerza inagotable de las mareas y las olas.

Pero la superioridad de los foros celulares no reduce á la nulidad las ventajas de los aparatos diferenciales cilíndricos. Y, pudiendo estos prestar servicios muy apreciables en multitud de circunstancias, conviene apurar su estudio como si no existiese cosa mejor. Además los foros, por lo general, deben ser de grandes dimensiones, lo cual no los hará fácilmente transportables, mientras que los aparatos de cilindros conjugados pueden sin gran esfuerzo tener esta propiedad. Su estudio, por otra parte, dará gran luz para el de los aeromotores. Y de aquí, el que me parezca absolutamente necesario manifestar los medios que me ocurren para vencer las resistencias de los aparatos de cilindros, empleando al efecto la hoy no utilizada fuerza del mar.

## IV.

Al imaginar los émbolos diferenciales, siempre quise llegar á condensaciones considerables, no solo con motores relativamente poco poderosos, sino tambien conseguir igualdad en las resistencias, á fin de que un motor constante pudiera ya contrarestar siempre esa deseada igualdad de las resistencias. Creo haberla obtenido con los foros celulares, pero no en los demás casos.

Repetidamente hemos visto que la condensacion de un gas por medio de un piston y un cilindro presenta sus resistencias en un órden creciente: desde casi nada á mucho; y, á veces, á muchísimo, cuando son muy grandes las tensiones. Y, si bien los estudios hechos en los anteriores libros sobre los émbolos conjugados del sistema diferencial, tienden á procurar la igualdad en ese órden creciente, y, en efecto, ese sistema reparte mejor una misma suma de resistencias, procurando la igualdad de los sumandos iniciales y finales; sin embargo, el *desideratum* sería convertir esa operacion de sumar sumandos desiguales y progresivamente crecientes en una simple operacion de multiplicar, transformando esa suma de sumandos crecientes en otra suma de sumandos enteramente iguales.

Algo me parece conseguido, porque á curvas abruptas é inaccesibles del sistema monocilíndrico, hemos sustituido suavísimas pendientes—sensiblemente planos—pero no hemos logrado planos horizontales, puesto que siempre en la compresion policilíndrica, aunque sin gran fatiga, hay que ir ascendiendo, ó aumentando contínuamente los esfuerzos del motor.

## V.

Me propuse, pues, hacer que, aun en el sistema policilíndrico diferencial, las resistencias, aunque crecientes, se me presentaran como constantes; pero imponiéndome ciertas condiciones.

Cuando la potencia y la resistencia no se equilibran constantemente, tiene la máquina que almacenar, en forma de movimiento, el exceso con que en ciertos instantes supera el trabajo motor al trabajo resistente, adaptando á un árbol de la máquina la gran masa de un volante; lo que, si hace vencer una resistencia superior en determinado momento, aumenta siempre la cantidad de las resistencias pasivas, considerables aun en el más delicado mecanismo.

Yo no he querido recurrir á los volantes, por no ser de fácil instalacion tratándose de un motor cual la fuerza del mar. Por otra parte, los volantes requieren una cierta velocidad que, á no ser con engranajes, me parece incompatible con la lentitud (á mi entender esencial) necesaria para llegar á grandes condensaciones sin un perjudicialísimo desarrollo de calor. Siempre he deseado una marcha sumamente lenta, pero sin recurrir á ruedas dentadas; sino solo por la disciplina y economía natural del procedimiento; y, por consiguiente, siempre he querido dar la preferencia á la accion directa de la máquina motriz de la marea sobre los émbolos compresores.

Aunque esta aspiracion no significaba, ni podia significar exclusion en absoluto de ruedas dentadas, manivelas, bielas, etc., ella sirve para explicar mis prolijos afanes por igualar las resistencias del aire comprimido durante la carrera de los émbolos: (así las del principio como las del fin).

## VI.

Los motores hidráulicos conocidos en la industria pueden dividirse en 2 clases:

Motores de piston con movimiento rectilíneo alternativo;

Motores de palas con movimiento circular contínuo.

Los primeros me parecieron más á propósito para mover los émbolos conjugados, y los segundos para los foros celulares; y, así, cuando trate de estos, examinaré los motores hidráulicos de movimiento circular contínuo.

Para mover, pues, los sistemas de émbolos conjugados, recurriré á los motores hidráulicos de piston con movimiento alternativo y rectilíneo.

## VII.

Los aparatos receptores de la fuerza motriz del mar tienen que someterse en las costas españolas (y lo mismo en las de casi todos los Océanos) á la condicion de consumir mucha agua marina, pero con poca altura. Y la razon es óbvia. En España la diferencia entre el flujo y el reflujo no llega á $5^m$; y, por consiguiente, no podemos, en general, aprovechar la presion del agua por su mucha altura, sino por su mucha cantidad.

Donde, como en Saint-Malo (Francia), en Bristol (Inglaterra), ó Greenstone (Fundy, América del Norte), alcanzan las mareas desniveles, que pasan, y mucho, de 10 metros, podrá ciertamente recurrirse á otras invenciones (por ejemplo, á la de Tommasi, de que trata el *Apéndice* á este Libro); pero en España la masa de agua consumida, y no su elevacion, tiene que determinar la potencia del aparato hidráulico receptor.

## VIII.

La ascension por un suave plano inclinado nos ha servido de Vorstellung para representarnos lo creciente de las resistencias por el sistema diferencial policilíndrico. Y para vencer esa cuesta, y hacer que tan desigual resistencia esté con la potencia en una relacion constante, no descubro más que uno de estos 2 medios:

1.° O buscar un motor de poder creciente;

2.° O trabajar con lentitud mayor á medida que la resistencia sea más grande.

# CAPÍTULO II.

## RECEPTOR DE PODER CRECIENTE.

1.

Todos los ingenieros tienen noticia de la llamada máquina de columna de agua (*à colonne d'eau*), usada en los paises montañosos que ofrecen saltos de agua, considerables por su altura más bien que por su abundancia, y no fáciles de utilizar por medio de las ruedas hidráulicas.

Estas máquinas son muy semejantes á las de vapor (*fig.* 492).

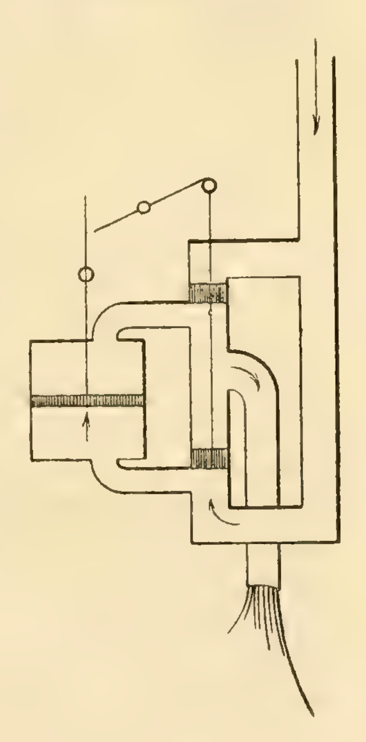


Fig. 492.

Regularmente se aprovecha el motor colocando verticalmente el cilindro; disposicion llena de inconvenientes tratándose de las mareas, porque, la mitad de las veces, haria perder en altura al peso de agua la longitud del cilindro.

La columna líquida actúa por su peso sobre una cara del piston; y, mientras, se escapa al exterior, despues de haber servido, el agua que baña la otra cara: un mecanismo automático facilita este efecto alternativamente, etc.

El motor hidráulico oscilatorio de Smith es una preciosa variante de este mecanismo, que puede trabajar con saltos de agua de $90^{m}$, y consumir $160^{m^3}$ por hora, desarrollando una potencia de 50 caballos-vapor.

La siguiente *figura* (493) es un croquis: el agua motriz entra por $E$ y sale por $S$.

Pero, dado que tratándose de las mareas no puede contarse con gran altura para mover los émbolos conjugados, creo que pudiera utilizarse la máquina *à colonne* con las modificaciones siguientes:

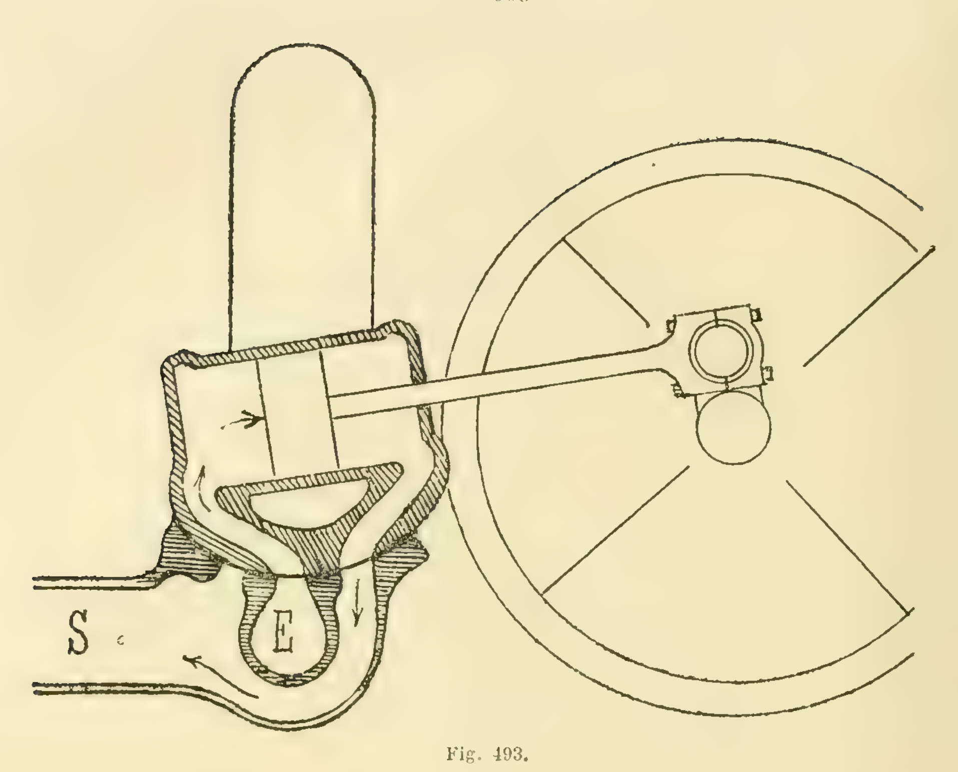



Fig. 493.

1.° Colocando horizontal el eje del cilindro;

2.° Manteniéndolo constantemente sumergido en fosos convenientes;

3.° Haciendo obrar el agua por aspiracion (de esto trataremos luego con detenida especialidad).

Baste por ahora concebir sumergido y horizontal el cilindro para comprender que de este modo se aprovecharia todo el peso del agua, ó sea la diferencia de niveles. Ambas caras del piston estarian bañadas por el agua; ambas tendrian sobre sí una columna líquida; pero la diferencia de alturas sería íntegramente aprovechada, y haria que avanzase (sin pérdida ninguna de presion hidráulica motriz) la cara que estuviese en comunicacion con el agua del estanque alto, expulsando al mismo tiempo, fuera del cilindro, el agua que estuviese en comunicacion con el estanque bajo. Y, si esto se verificaba automática y alternativamente, tendríamos todo lo necesario para la compresion del aire, sin detrimento ninguno del efecto debido á la diferencia de potencia hidráulica correspondiente á los niveles.

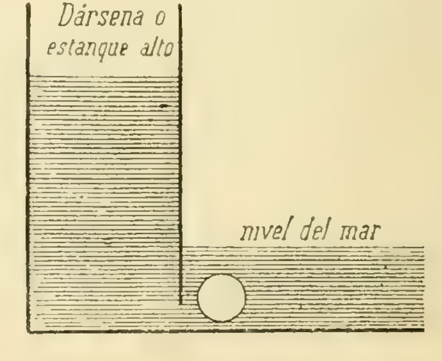
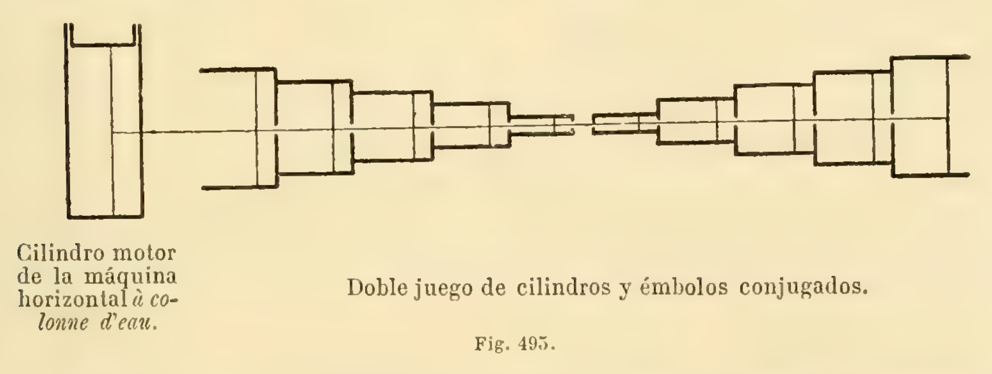



Fig. 494

II.

En su forma teórica, los émbolos conjugados solo comprimen y almacenan aire al caminar en un sentido; pues, al retroceder, lo que hacen es aspirar aire nuevo en el cilindro mayor, y, en los demás, disponer convenientemente el aire ya condensado, para ser recondensado y almacenado á la carrera inmediata. Bien poca fuerza se necesita para el funcionamiento de los émbolos al retroceder: hagamos de ella caso omiso.

Pero, á fin de que la accion compresiva del agua no fuera intermitente, el vástago de la máquina horizontal de columna habia de mover simultáneamente dos sistemas de émbolos conjugados; de tal modo que, mientras uno condensaba y almacenaba aire (por efecto del peso del agua marina), el otro renovaba su provision de aire atmosférico en el cilindro mayor, y hacia cambiar de posicion, con respecto á los émbolos restantes, al aire que se hubiera préviamente condensado, recondensado y percondensado en los correspondientes cilindros de capacidad menor. (Esto, por supuesto, si no se adoptaba alguna de las formas discutidas en el cap. IV, que empieza á la pág. 376.)



Cilindro motor de la máquina horizontal *à colonne d'eau*.

Doble juego de cilindros y émbolos conjugados.

Fig. 495.

Cuando el un juego comprime y almacena, el otro juego se abastece de aire nuevo, y se pone en disposicion de comprimir y almacenar á la carrera siguiente. El abastecimiento de aire nuevo se hará por tubos no dibujados, que salgan á la atmósfera ambiente.

Tambien pudiera adoptarse la disposicion que sigue (*fig.* 496).

La máquina de columna de agua caminaria con toda la lentitud que se quisiese, condicion la más sencilla para evitar el gran desprendimiento de calor propio de una compresion demasiado rápida: y, estando sumergidos los compresores, el resultado sería más fácil de lograr.

La máquina horizontal *à colonne* se prestaria maravillosamente á trabajar con mayor ó menor lentitud; pues, para obtener estos cambios en la velocidad, solo habria que facilitar ó restringir la entrada del líquido motor en el cilindro.

Unas veces tardaria mucho tiempo en llenarse, y otras veces ménos, pero la potencia sería siempre la misma. Claro es que el trabajo no lo sería, pues la

produccion del aire comprimido aminoraría con la lentitud, y aumentaría con la celeridad (relativa, se entiende).

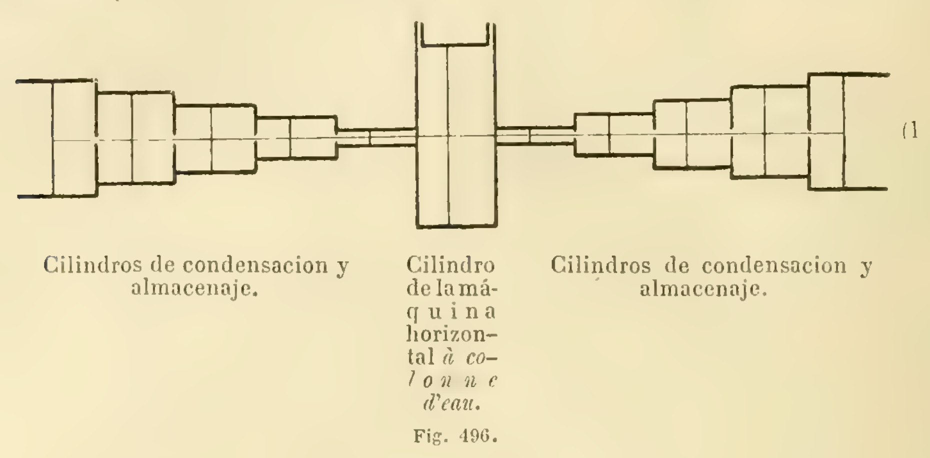



Fig. 496.

Y la potencia permanecería constante, aunque variase la velocidad, porque la teoría de este mecanismo sería la de la prensa hidráulica, toda vez que el piston no huiría del agua comprimente, segun ocurre en las máquinas hidráulicas de gran velocidad.

No huyendo el piston ante el agua motriz, se aprovecharía íntegra toda la potencia correspondiente á la altura disponible del motor.

En efecto: utilizaríamos el principio de Pascal, como en la prensa hidráulica, puesto que la presion se transmite en los líquidos de tal modo, que los esfuerzos ejercidos sobre diferentes superficies, son proporcionales á las áreas.

Ahora bien: supongamos de $10^m$ la altura del agua marina motriz;

Supongamos que esta columna actúa sobre el piston de un cilindro horizontal, cuya superficie tenga 1 metro cuadrado (*fig.* 497);

Supongamos igualmente otro aparato análogo (*fig.* 498).

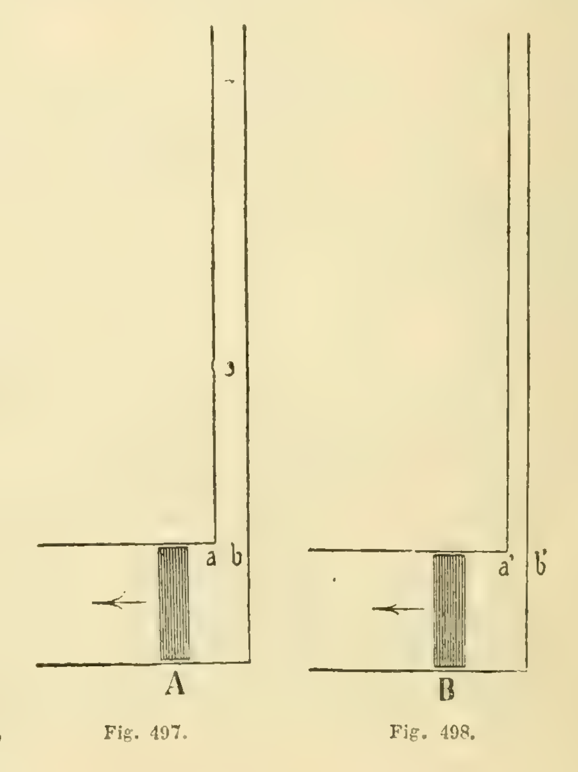



Fig. 497. Fig. 498.

(1) Claro es que pudieran aquí indicarse las disposiciones estudiadas desde la pág. 376, con el objeto de economizar espacio.

Sea de 1 centímetro cuadrado la seccion del tubo alimentador de *A*, y de ½ centímetro cuadrado solamente la del tubo alimentador de *B*.

Evidente es que en llenar el cilindro *B* se invertirá doble tiempo que en llenar el cilindro *A*.

Por otra parte, cada uno de los 10 000 centímetros cuadrados del piston *A* será empujado con la fuerza de $1^k,0336$ (1); y, por consiguiente, para detener la marcha del piston *A*, sería necesario oponer una fuerza antagonista igual á 10336 kilógramos (prescindimos siempre de rozamientos, etc.).

Esto es claro: la superficie *ab* tiene sobre sí una presion igual á la de la atmósfera, ó sea de $1^k,0336$; y es claro que, conforme al principio de Pascal, cada porcion del interior del cilindro que tenga la misma superficie que la seccion *ab*, sufrirá la misma presion que *ab*. Es así que el piston *A* tiene 10 000 superficies iguales á *ab*; luego el piston se mueve con una fuerza de 10 336 kilógramos.

Pero, por lo mismo, cada porcion interior del cilindro *B* sufre idéntica presion que la base del tubo *a'b'*, que es igual á ½ kilógramo; y como el piston $B = 1^{m^2}$, tiene 20 000 superficies iguales á *a'b'*, resultará que *B* marchará con una fuerza de 27 672 medios kilógramos; ó, como en el caso anterior, con un empuje que solo podrian contrarestar $10\ 336^k$.

Por consiguiente, estos cilindros *à colonne* podrian marchar con suma lentitud en la época de las cuadraturas, ó sea en la época de las mareas muertas, trabajando, sin embargo, con la misma gran potencia.

Los cambios de alturas entre el flujo y el reflujo, se transformarian, así, en cambios de velocidad, pero no en cambios de potencia.

Esta solucion es importante: transformar en irregularidades de tiempo las irregularidades de la altura hidráulica, permaneciendo constante el esfuerzo de la potencia (2).

## III.

Esta máquina horizontal y sumergida tiene la preciosísima ventaja de poder conjugarse fácilmente con otra, ú otras, para doblar, triplicar....., multiplicar el efecto de la marea.

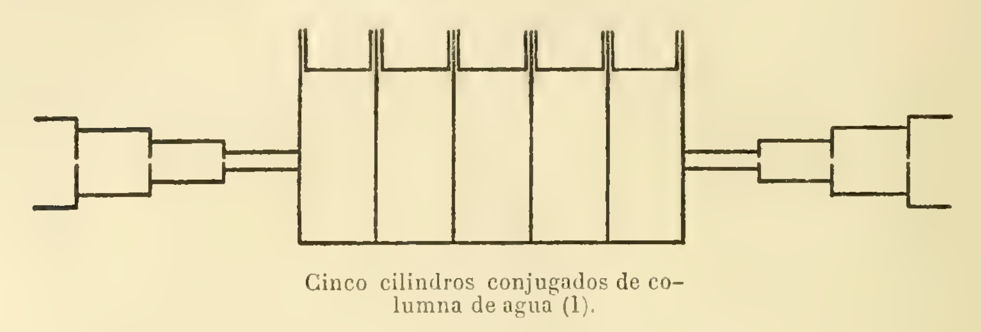
La industria sabe hacer en los tiempos actuales, cilindros perfectos, hasta

(1) O, segun varios autores, $1^k,0333$.

(2) Muchas veces los principios están conocidos desde hace largos años, pero las aplicaciones se hacen esperar. Los investigadores de las ciencias, no son necesariamente inventores de aparatos industriales. Los investigadores interrogan á la naturaleza, y consignan sus respuestas. Pasa el tiempo, y cosas diseminadas se ven reunidas, á veces por azar, á veces por fantasías agudas, detenidas en su camino hácia el progreso: y así se obtienen grandes adaptaciones de incalculable valor para la Humanidad, y acaso nunca soñadas por los que contribuyeron directamente á su existencia. (*S. American*, marzo 9, 1878.)

de 2 y 3 metros de diámetro, y su piston correspondiente; pero no ejecutaría un cilindro ni un piston que tuviesen dos, tres..... veces la misma superficie.

Pues, como el agua de las mareas abunda, y no puede haber inconveniente en gastar de ella enormes cantidades, nada más fácil que utilizarla en masas considerables, haciendo á la vez funcionar conjugadamente varios cilindros de columna colocados horizontalmente.



Cinco cilindros conjugados de columna de agua (1).

Fig. 499.

La conjugacion de estos cilindros horizontales puede ser de gran utilidad donde no haya mareas de gran altura.

Supongamos 10 trabajando bajo un peso de agua de $1^m$ solamente, ó sea de $\frac{1}{10}$ de atmósfera cada uno.

Tenga cada cilindro 2 metros de altura y $1^m$ de radio.

La superficie circular de cada piston será de $31416^{c^2}$, y la fuerza de los 10 pistones conjugados ascenderá á 31 $\frac{1}{2}$ toneladas. Con esta potencia habria más que suficiente para comprimir $2^{m^3}$ de aire á la espantosa presion de $32^{atm}$ por cada carrera completa de los 10 pistones hidráulicos (2).

## IV.

Entro ahora á explanar lo insinuado en la Seccion II, pág. 668, respecto á la aspiracion.

Las máquinas horizontales *à colonne d'eau* y sumergidas, deben obrar, no

(1) Bien se echa de ver que, colocados verticalmente estos 5 cilindros *à colonne d'eau*, se reduciria considerablemente el efecto del salto de agua. Y tal podria ser la altura del salto, y tal la de los cilindros, que alguno ó algunos de estos viniesen á estar más altos que el nivel superior del salto mismo. Horizontales y sumergidos, cada uno aprovecha por entero la altura del salto; y, juntos, multiplican su efecto. En la *figura* anterior (994) lo quintuplican.

(2) Sea de $2^m$ la carrera de los émbolos conjugados geométricamente.

Estos sean seis

$$::10000 : 5000 : 2500 : 1250 : 625 : 312{,}5;$$

y el esfuerzo final no será más que.

Una corona cualquiera $\times$ (n.º de cilindros—1)

$$= 5000^{c^2} \times (6-1) = 25000^k = 25^{ton}.$$

solo por presion hidráulica, sino tambien por succion. Es decir, que deben ser hidro-pneumáticas.

Colocando una máquina *à colonne d'eau* en un foso de tal profundidad, que el cilindro estuviese completamente sumergido, aun en la mayor depresion de los reflujos más bajos del año, es de evidencia que siempre se aprovecharía íntegramente todo el peso del agua motriz, ó sea la diferencia de niveles entre el estanque alto y el bajo.

Pero la máquina *à colonne*, situada á tanta profundidad, necesitaría, en el mayor número de los casos, un no despreciable gasto inicial para dragar el foso, y para establecerla; y, en segundo término, sería en toda ocasion difícil de limpiar y de mantener en buen estado, y árduo el repararla si llegaba á experimentar deterioros ó averías. En tercer término, para actuar sobre los

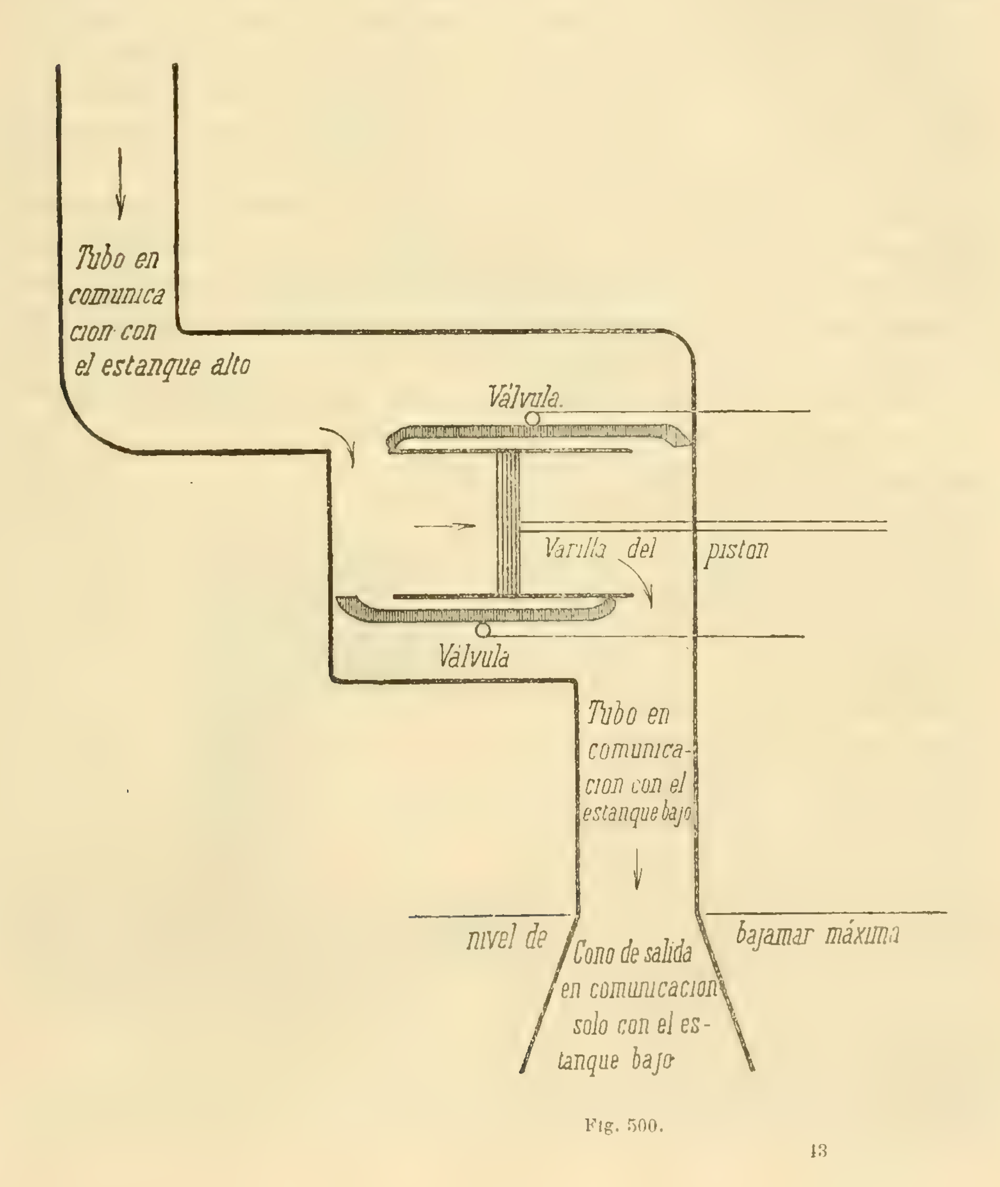



Fig. 500.

aparatos que comprimiesen el aire, se requerirían difíciles trasmisiones á distancia, que aumentarían en grande las resistencias pasivas.

Ahora bien: imaginémonos la máquina *à colonne* no sumergida totalmente siempre y en toda ocasion, sino simplemente establecida en el estanque bajo, y colocada de tal modo que el agua, despues de haber servido, salga de la máquina sin ponerse en comunicacion con la atmósfera hasta haber penetrado bajo el nivel más bajo del más bajo reflujo anual.

Se ve, en efecto, que si se pierde en fuerza, colocando en alto el cilindro horizontal, puesto que así es mucho menor la distancia del émbolo motor hasta el nivel libre del estanque alto, sin embargo, se compensa esa gran pérdida por la aspiracion producida en la parte del cilindro que se halle en comunicacion con el nivel inferior de la bajamar; aspiracion tanto más fuerte, cuanto más distante del nivel de la bajamar se encuentre el cilindro *à colonne* horizontal y sumergido. (Se entiende que esa distancia no exceda de $10^{m}$.)

Obvio es, pues, la facilidad con que podrá inspeccionarse el mecanismo, limpiarlo, cuidarlo, ó reparar las averías, para lo cual solo habrá que aguardar en las mareas vivas á que el cilindro quede en seco.

La fuerza de aspiracion aumentará de un modo considerable si el tubo de salida termina cónicamente, puesto que los orificios cónico-divergentes tienen la propiedad de anular la influencia de la contraccion que la vena fluida experimenta cuando se escapa de un recipiente, sea por un orificio en pared delgada, sea por un «ajustaje» cilíndrico.

Para que impresione bien esta fuerza de aspiracion, imaginemos un cilindro *(fig. 501)* de 1 metro cuadrado de superficie, bañado con agua por solo la cara *B* de su piston, y comunicando, no con agua, sino con la atmósfera, por la otra cara *A*.

Contra la cara *A* del piston pesa la atmósfera, ó sean 10336 kilógramos: contra la cara *B* pesa tambien la atmósfera, ménos aquello en que la contrareste la columna hidráulica *C D:* suponiendo esta columna de solo $1^{m}$ de altura, ó sea de $\frac{1}{10}$ de atmósfera, la cara *B* se opondrá á la *A* con $\frac{9}{10}$ de kilógramo

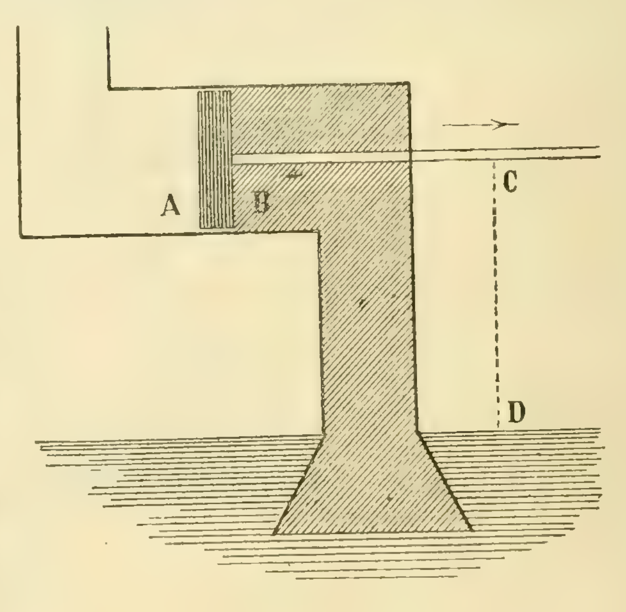


Fig. 501.

por centímetro cuadrado; de modo que el piston, por la aspiracion ó la succion avanzará en el sentido de la flecha, con la enorme fuerza de una tonelada.

V.

La conjugacion de los cilindros *à colonne* puede proporcionarnos un motor de poder creciente, para vencer el plano inclinado que representa la percondensacion hecha por medio de los émbolos diferenciales.

Con ellos nos hemos aproximado bastante á la igualdad entre los esfuerzos iniciales y los finales; pero no la hemos obtenido todavía por completo: la razon se acerca á ser : : 1 : 2, ventaja considerable comparándola con la razon : : 1 : 2000, que nos dió el sistema monocilíndrico (pág. 337); pero la duplicacion de la resistencia, al finalizar la carrera de los émbolos diferenciales, permanece siendo una gran dificultad.

Estos receptores hidráulicos son muy buenos por las grandes masas de agua que consumen los cilindros hidro-pneumáticos conjugados, con todo de trabajar bajo el peso de columnas de agua motriz poco importantes en altura; y sin duda por esta circunstancia podrán ser de general aplicacion, puesto que son pocas las localidades donde las mareas se elevan muchos metros; pero, si tales receptores tienen durante toda su carrera fuerza : : 2 (porque esa intensidad necesitan al fin de la compresion del aire), entonces se derrocha y despilfarra una gran cantidad de potencia mientras solo se exigia intensidad : : 1, : : $1\frac{1}{3}$, : : $1\frac{1}{2}$....., etc.

Pero, supongamos ahora que existan 5 émbolos diferenciales para la compresion de un gas, y que, en números redondos, sea la resistencia inicial $= 3200^k$, y la final $= 6400^k$.

Ahora bien: si el receptor hidro-pneumático tiene 8 cilindros, que en su carrera invierten 16 segundos, y si cada uno es capaz de vencer la resistencia de 800 kilógramos, podemos proceder como sigue.

Desde el primer momento de la compresion funcionarán 5 cilindros *à colonne* durante 7 segundos.

Pasados estos 7 segundos, y cuando ya las resistencias deban ser de más de 4000 kilógramos, funcionará otro más, total, 6 cilindros durante los 4 segundos subsiguientes.

Desde entonces hasta el décimocuarto segundo, trabajarán 7 de los 8 cilindros *à colonne*.

Y durante los 2 segundos restantes hasta los 16, funcionarán conjugadamente todos 8.

Para esto no tenemos más sino imaginar que durante toda la carrera (es decir, durante 16 segundos), están los 5 primeros cilindros en comunicacion constante y nunca interrumpida con el estanque alto; que el 6.° cilindro lo

está desde el 7.° segundo en adelante; que el penúltimo comunica con él desde el undécimo segundo; y que el 8.° se pone en accion desde el décimocuarto hasta el fin.....

De este modo, y entrando solo á trabajar los cilindros de refuerzo cuando su accion se hace imprescindible, resultarán economizadas grandes masas del agua motriz, represada en el estanque alto. Por ejemplo, el cilindro 8.°, que solamente necesita trabajar 2 segundos, ahorrará los $\frac{7}{8}$ que habria consumido, si hubiese empezado á trabajar desde el principio, cuando su cooperacion no era necesaria, antes bien perjudicial y malgastadora (1).

## VI.

Para realizar este motor de potencia creciente, no serían de la misma altura todos los cilindros: tendrian la misma solamente aquellos que estuviesen trabajando desde el principio hasta el fin de la carrera de los émbolos: los otros cilindros temporal y sucesivamente cooperadores no tendrian más altura que la proporcional al tiempo de su cooperacion.

Los pistones de los cilindros de trabajo incesante estarían fijos permanentemente al vástago, que sería comun á todos.

Pero los pistones de trabajo intermitente no estarían sujetos permanentemente al vástago. El vástago pasaría *à frottement doux*, con rozamiento suave, por el centro de los pistones de trabajo intermitente, sin arrastrarlos consigo hasta el preciso instante en que hubiesen de cooperar, con los pistones fijos, á la condensacion del gas.

Al efecto, cada piston de trabajo intermitente tendrá 2 palancas, segun representa la *figura* 502, una por cada cara del piston. Estas palancas serán susceptibles de un pequeño movimiento de rotacion al rededor de sus ejes $Q$ y $Q'$, fijos en la masa misma del piston. Un peso $P$ por un lado y $P'$ por otro del piston solicitará cada palanca en sentido vertical.

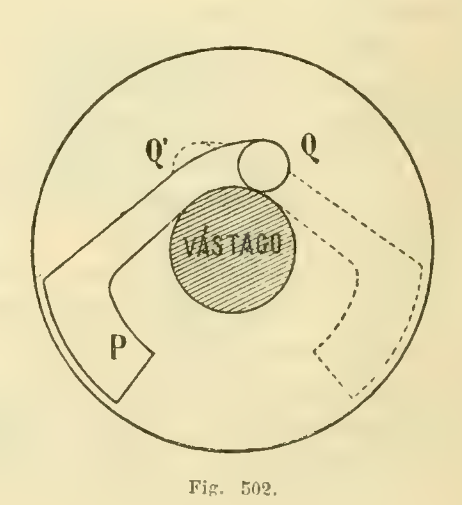


Fig. 502.

Estando, pues, en quietud el piston, se deslizará por su centro, con rozamiento suave, el vástago comun de todos los pistones, resbalando bajo cada palanca, hasta el momento preciso de la cooperacion. Este momento llegará cuando pase por

(1) Para facilidad de la exposicion he usado esos números, que, en rigor, no son exactos, ni los mejores.

debajo de cada palanca la correspondiente ranura de dos existentes para cada cilindro cooperador en el vástago mismo; pues entonces la respectiva barra, solicitada por la gravedad, se alojará en su ranura, haciéndose en tal momento solidarios uno de otro el vástago y el piston. En tal momento se abrirán convenientemente las válvulas de alimentacion y desagüe del cilindro cooperador, el cual unirá su energía á la de los cilindros de trabajo contínuo.

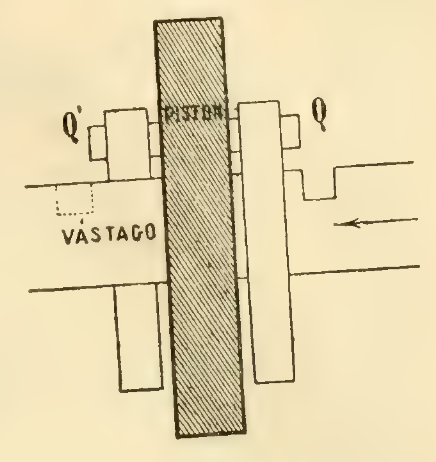



Fig. 503.

Para hacer cesar la solidaridad entre el vástago y cada uno de los pistones cooperadores, ó de trabajo intermitente, habrá en cada fondo un tope en plano inclinado, el cual desarticulará la palanca, levantando la barra lo necesario á que el vástago quede libre, al mismo tiempo que se cerrarán simultáneamente las válvulas de alimentacion y desagüe, con lo que quedará en quietud el piston cooperador.

El vástago con movimiento inverso se deslizará por su centro *à frottement doux*, hasta que la otra palanca, alojándose en otra ranura correspondiente, haga de nuevo solidarios vástago y piston, etc. (1)

---

(1) Otros medios me ocurren; pero no quiero insistir.

Este motor de poder creciente economizará de cierto grandes cantidades de agua motriz; pero la cooperacion no se efectuará por gradaciones insensibles al compás de cómo crecen las resistencias del aire comprimido. La cooperacion se inicia *per saltum;* y, por consecuencia, sobra fuerza en el inicio, la cual no se rescata despues.

Luego veremos que la conjugacion de varios cilindros hidro-pneumáticos puede dar de otra manera excelentes resultados.

# CAPÍTULO III.

## RECEPTOR DE LENTITUD CRECIENTE.

---

### I.

Los esfuerzos crecientes que exigen los émbolos conjugados, se cambiarán en decrecientes, si un motor cualquiera pone en accion los émbolos por medio de manivelas y bielas.

Estudiar la accion del organismo *manivela-biela*, es el objeto de este capítulo.

Al pensar en los cilindros *à colonne* horizontales, ha sido forzoso disponerlos de tal modo, que entrára mayor número de ellos en accion á medida que las resistencias fueran aumentando, lo que en realidad equivalia á crear un motor especial de poder creciente, pero no suavemente gradual (lo cual entraña muy serios inconvenientes).

Podrá haber ocasiones en que convenga condensar aire, no por medio de la fuerza motriz del mar, y ni aun siquiera de un motor hidráulico, sino por medio del vapor; y, tratándose de las máquinas de fuego, convendria habérnoslas con fuerza decreciente, si quisiéramos utilizar, directamente y hasta sin volantes, la fuerza de la expansion del vapor de agua; pues el carbon cuesta muy caro, y es forzoso, por cuantos medios sean posibles, ponernos en condiciones de considerable baratura, si el aire percondensado tiene algun dia de hacerse accesible á la pequeña industria, donde quiera que no existan otros motores más baratos que aprovechar.

Y obsérvese que esto no es difícil que suceda.

Aunque sea repitiéndonos, recordemos la esencia de lo dicho en otras partes.

### II.

Para satisfacer gran número de necesidades, tales como la distribucion de la fuerza á domicilio en una poblacion fabril, pudiera muy bien pensarse en establecer una gran factoría de vapor, que comprimiese aire para luego distribuirlo segun las necesidades de cada industrial.

Si se considera que en un centro manufacturero, cada máquina de vapor, por pequeña que fuere, necesita su fogonero, cuando ménos, y su caldera y

su hogar; si se reflexiona que ese batallon de operarios podia quedar reducido á muy corto número de hombres en cuanto la fuerza se centralizara; y si se calcula la pérdida inmensa de calor que, por radiacion solamente, se disipa sin fruto de ninguna clase en el gran conjunto de calderas particulares; si se tiene en cuenta, en fin, que pocas veces necesita el industrial toda la fuerza máxima de su caldera....., no podrá ménos de causar asombro á los mecánicos pensadores, el que todavía no se hayan sistemáticamente formado empresas importantes, no para fabricar, no para producir inmediatamente artefacto ninguno individual, sino tan solo con el exclusivo objeto de hacer el bien inmenso de vender la fuerza al por menor, y distribuirla á domicilio. Y no hablemos del carbon perdido para poner cada caldera en presion, ni del calor no aprovechado durante las horas de almuerzo y de comida; ni de aquellas terribles semanas y aun meses, en que, languideciendo la demanda, sobra motor, y, sin embargo, no se reduce la caldera.

Pudiera, pues, quererse hacer uso de émbolos conjugados para comprimir aire; y, vendiéndolo percondensado, repartir la fuerza entre la pequeña industria, debiéndose al vapor, desarrollado en grandes y económicos mecanismos, la fuerza motriz productora de la condensacion.

## III.

Bien se ve que los cilindros hidro-pneumáticos de poder creciente no son el mejor medio de lograr el objeto que nos estamos proponiendo: son, de cierto, un medio, muy económico en verdad, pero dejando aún mucho que apetecer.

¿No se lograría lo mismo trabajando más despacio, á medida que fuese acercándose el momento de la condensacion final?

Indudablemente se lograría, si el vástago de nuestros émbolos diferenciales se movia de un modo especial por el intermedio de una manivela y su biela. Y, verificándolo así, tendríamos que, aunque las resistencias propias de la condensacion fuesen crecientes (casi : : 1 : 2 cuando no hay intercalares en los casos que hemos visto), el organismo «manivela-biela» triunfaría por completo de semejantes incrementos, porque los brazos de palanca de la manivela dependen del ángulo que ésta forma con la biela, y esos brazos de palanca decrecen en proporcion mayor que aquella en que puedan aumentar las resistencias de la compresion (1).

---

(1) Cuando imaginé este recurso, creí que bastaria enunciarlo para que fuese admitido sin discusion. Pero, habiéndome encontrado con objeciones inesperadas, puestas por personas ciertamente entendidas en esta clase de materias, conceptúo necesario (ó, por lo ménos, no ocioso) explanar el pensamiento, entrando en pormenores, familiares á muchos de seguro.

## IV.

Mientras más cerca de su punto muerto $m$ se encuentra el boton $b$ de una manivela, menor es el esfuerzo necesario para vencer la resistencia de su biela.

Y con efecto: en la *figura* 504 tiene mucho más camino que andar el boton $b$ de la manivela, que en la *figura* 505 para llegar al punto muerto $m$.

El peso (igual en los 2 casos) representa la resistencia de la biela. La fuerza de este peso (vertical en las *figuras* 504 *y* 505) se descompone en otras dos; una que sigue la direccion misma de la manivela, y otra $ab$, que le es perpendicular. La primera componente queda destruida por la rigidez del centro; la segunda $ab$ es la resistencia remanente que ha de vencer el motor; y bien claro se ve que esa línea tiene que irse reduciendo á medida que la manivela se acerque más y más al punto muerto; y, cuando llegue á él, la línea se hace cero.

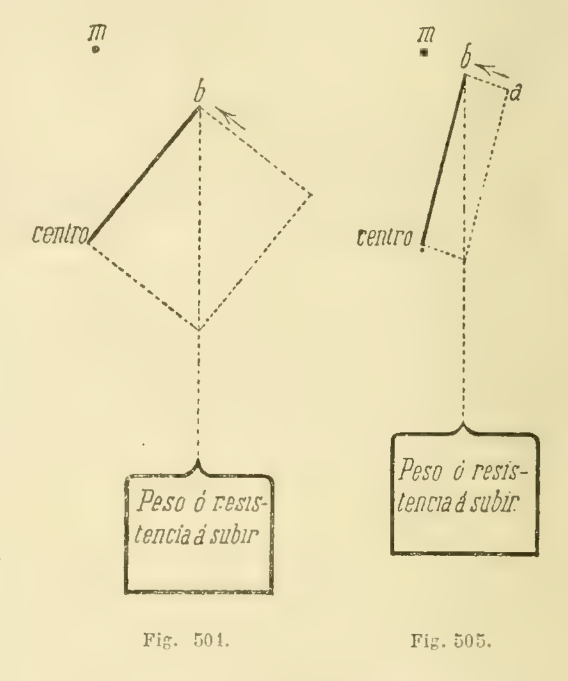


Fig. 504. Fig. 505.

Y óbvio es igualmente que esa línea llegará á su máximum, cuando la manivela se ponga perpendicular á la recta que une entre sí los 2 puntos muertos.

## V.

Si, pues, se comprimiese aire en los cilindros $A$, $B$, $C$ (*figs.* 506 *y* 507) con la manivela $o\,m$ y la biela $m\,K$, tendríamos una disposicion ventajosísima para condensar más y más los gases, á medida que, como indica la *figura* 507, nos fuésemos acercando al límite de la compresion (al cual se llega cuando manivela y biela se colocan en una misma línea recta, que es precisamente la línea de los puntos muertos).

En efecto (*fig.* 508):

Cuando el boton $m$ de la manivela $o\,m$ haya caminado 30° y tomado la posicion $o\,m'$, la biela (1) habrá bajado la mitad de su carrera; y si en andar esa mitad ha echado 30 segundos (á segundo por grado), tendrá que emplear doble tiempo en bajar la otra mitad, puesto que el boton invertirá 60 segundos en andar los 60 grados restantes hasta 90°, término de la bajada y camino de la biela.

Ahora bien: cuando empieza á bajar la biela (es decir, cuando comienza la compresion del gas) el brazo de palanca es $o\,m$ (*figura* 508)

= al radio mismo de la manivela.

Cuando el boton ha caminado 30°, y está ya en $m'$, el brazo de palanca es $m''\,m' < o\,m$ (2).

Cuando el mismo boton ha andado otros 30° y llega á $m'''$, el brazo es $m^{\text{IV}}\,m''' = \frac{1}{2}\,o\,m$ (3).

.....Y cuando el boton llega á los 90°, el brazo de palanca es cero.

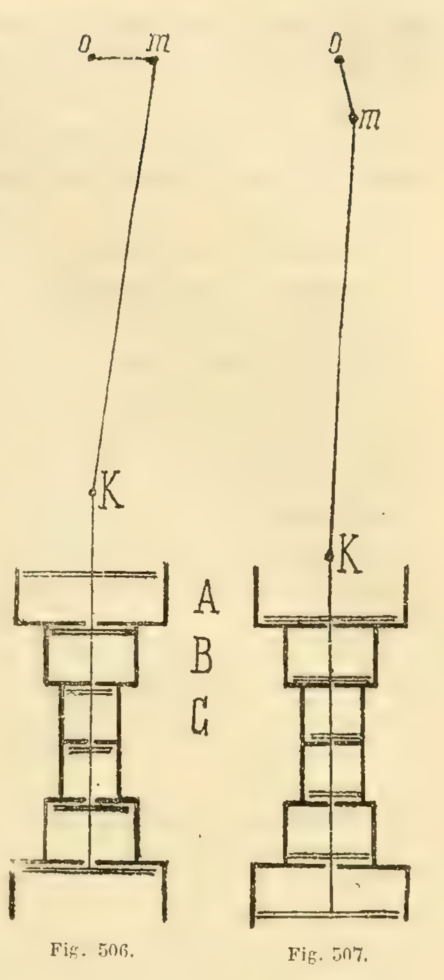


Fig. 506. Fig. 507.

Muy fácil es ya la discusion. Cuando la biela ha descendido la mitad de su carrera (lo cual se verifica, si la biela es infinita, al hallarse el boton en 30°), entonces la resistencia del gas es igual á $\frac{4}{3}$ de atmósfera; pero el brazo de palanca no es inversamente proporcional (es decir, no es $\frac{3}{4}$), como debiera ser para que el esfuerzo no aumentara; es solo unos $\frac{7}{8}$ de la manivela (4); por manera que cuando la resistencia ha aumentado $\frac{1}{3}$, el brazo de palanca de la potencia ha disminuido únicamente $\frac{1}{8}$; y hay, por tanto, durante ese período de

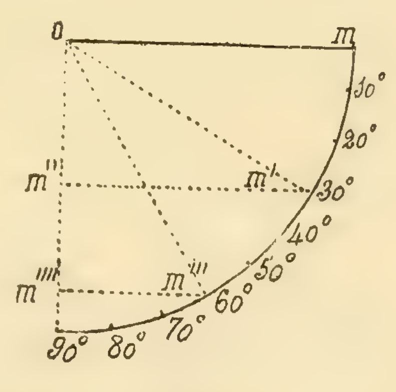


Fig. 508.

---

(1) Es preciso suponerla infinitamente larga; siendo así, será verdad que el piston habrá caminado la $\frac{1}{2}$ de su carrera, por ser $= \frac{1}{2}$ el seno de 30°.

(2) $m''\,m' =$ cos. de $30° = 0{,}86602$.

(3) $m^{\text{IV}}\,m''' =$ cos. $60° = 0{,}50000$.

(4) Cos. $30° = 0{,}86602 =$ igual próximamente $\frac{7}{8}$.

30 segundos, necesidad de ir aumentando los esfuerzos para vencer las crecientes resistencias que opone la condensacion del gas.

Pero, á los 60°, el brazo de palanca de la potencia ha disminuido de tal modo, que es igual á la mitad de la manivela, mientras que la resistencia del aire no ha podido llegar á ser proporcional inversamente; esto es, la resistencia no ha podido llegar á ser igual á 2 (pues esto solamente sucede á los 90°, y, aun eso, y próximamente, cuando no hay intercalares).

Luego el brazo de palanca en ese segundo período de 30 segundos decrece con más rapidez que crece la resistencia natural de la condensacion.

Y si esto ocurre entre 30° y 60°, con mayor razon ocurrirá entre 60 y 90°.

A los 90° la resistencia ha aumentado hasta ser igual á 2 (casi), y el brazo de palanca ha disminuido todo lo posible, puesto que se ha hecho = cero.

Luego se puede utilizar ventajosamente la expansion del vapor, siempre que á cada carrera del piston en el cilindro de vapor, corresponda otra carrera del vástago de los émbolos diferenciales conjugados, si estos son movidos por una biela, articulada á una manivela, rígidamente unida al árbol de la máquina de vapor.

## VI.

Para que la intuicion geométrica preste ayuda á la compresion del decremento de los brazos de palanca, inspecciónese la *figura* 509, donde, si el ra-

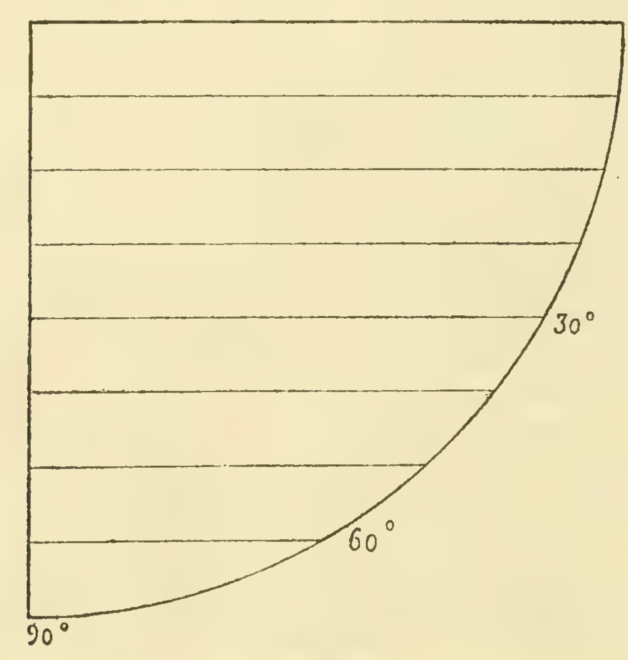



Fig. 509.

dio es = 100, la segunda línea horizontal es próximamente = 98; por lo que el brazo de palanca es los $\frac{98}{100}$ cuando la biela ha bajado la octava parte de su curso.

La tercera línea es casi = 96; de modo que, cuando los émbolos conjugados han descendido la cuarta parte, el brazo de palanca es solo 0,97 que al empezar.

Y así sucesivamente.

Formando, pues, el correspondiente estado, tendremos las presiones y los brazos de palanca correspondientes. Las unas aumentan; los otros decrecen: aquellas hasta casi el duplo, en el caso de émbolos diferenciales : : 2 : 1; estos hasta cero, y eso en todos los casos imaginables. Las compresiones al principio crecen en razon mayor que los brazos disminuyen; pero, hácia el fin, menguan los brazos en proporcion infinitamente mayor que el incremento de las presiones, puesto que el brazo llega á reducirse á cero en el punto muerto, y las resistencias del aire son siempre una cantidad finita.

| Incremento de las presiones con émbolos : : 2 : 1. | Decremento de los brazos de palanca, siendo igual á 100 el largo de la manivela. |
|---|---|
| Cuando la biela ha bajado la 8.ª parte de su carrera, es la presion sobre módulo kilogramétrico. . . . . . = $1^k$,06; | y el correspondiente brazo de palanca = 0,99; |
| Cuando ha bajado $\frac{2}{8}$ = 1 ,14; | y su brazo. . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . = 0,97; |
| Cuando $\frac{3}{8}$ = 1 ,23; | y su brazo. . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . = 0,93; |
| Cuándo $\frac{4}{8}$ = 1 ,33; | y su brazo. . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . = 0,87; |
| Cuando $\frac{5}{8}$ = 1 ,45; | y su brazo. . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . = 0,78; |
| Cuando $\frac{6}{8}$ = 1 ,60; | y su brazo. . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . = 0,66; |
| Cuando $\frac{7}{8}$ = 1 ,77; | y su brazo. . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . = 0,48; |
| Cuando $\frac{8}{8}$ = 2 ,00; | y su brazo. . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . = 0,00. |

Para que los brazos de palanca tengan estas dimensiones, es preciso suponer sumamente larga la biela (en rigor hay que considerarla «infinita»). Pero prescindamos de esta impropiedad, y obsérvese la enorme rapidez con que decrece el brazo desde el período 7.° al 8.°, pues de 0,48 pasa á cero.

A los $\frac{15}{16}$ de carrera la presion es 1,88, y el brazo 0,35;
A los $\frac{31}{32}$ la presion es 1,94, y el brazo 0,25;
A los $\frac{63}{64}$ la presion es 1,97, y el brazo 0,18.

Multiplicando la presion por el brazo, tendremos que las resistencias de una biela inmensamente larga, al mover 2 émbolos conjugados diferenciales : : 1 : 2, serán por módulo kilogramétrico:

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Al $\frac{1}{8}$ de la carrera | 1,06 × 0,98 (1) | = 1k,04 | (en vez de 1k,06); |
| A los $\frac{2}{8}$ | 1,14 × 0,96 | = 1 ,09 | (en vez de 1 ,14); |
| A los $\frac{3}{8}$ | 1,23 × 0,92 | = 1 ,13 | (en vez de 1 ,23); |
| A los $\frac{4}{8}$ | 1,33 × 0,86 | = 1 ,14 | (en vez de 1 ,33); |
| A los $\frac{5}{8}$ | 1,45 × 0,77 | = 1 ,11 | (en vez de 1 ,45); |
| A los $\frac{6}{8}$ | 1,60 × 0,66 | = 1 ,05 | (en vez de 1 ,60); |
| A los $\frac{7}{8}$ | 1,77 × 0,47 | = 0 ,83 | (en vez de 1 ,77); |
| A los $\frac{15}{16}$ | 1,88 × 0,33 | = 0 ,62 | (en vez de 1 ,88); |
| A los $\frac{31}{32}$ | 1,93 × 0,25 | = 0 ,48 | (en vez de 1 ,93); |
| A los $\frac{63}{64}$ | 1,97 × 0,11 | = 0 ,22 | (en vez de 1 ,87); |
| A los $\frac{8}{8}$ | 2 × 0 | = 0 , | (en vez de 2 ). |

Vese, pues, que las resistencias de la biela se dividen en 2 períodos: uno creciente hasta un máximum de 1,14, que ocurre cuando la biela ha llegado á la mitad de su camino; y otro, durante la otra mitad, con rapidez decreciente, por más que las presiones del aire continúen aumentando.

Véanse las curvas de la lámina adjunta.

Evidente es que durante el descenso de la curva puede utilizarse la expansion del vapor (ó de cualquier otro fluido aeriforme).

## VII.

Aunque las consideraciones que preceden son, á mi entender, de toda evidencia, he observado que debe haber en ellas algo de refractario (sin duda porque no acierto á exponerlas bien), cuando en un primer momento han sido recibidas con cierta hostilidad por personas á quienes no podia suponerse ignorantes en esta clase de materias.

Paréceme que esa no aquiescencia del primer momento, depende de considerar idéntico el organismo biela-manivela al organismo manivela-biela.

Sabido es que el movimiento rectilíneo alternativo del piston de un cilindro de vapor, se transforma en movimiento circular contínuo por medio de una biela, una manivela y un volante (*fig.* 510).

Sabido es tambien, que la accion del piston sobre la manivela es muy irregular; porque, aun suponiendo constante la presion dentro del cilindro, se ejerce su potencia sobre la manivela en posiciones distintas á cada instante, y más ó ménos favorables para que el vapor produzca todo su efecto.

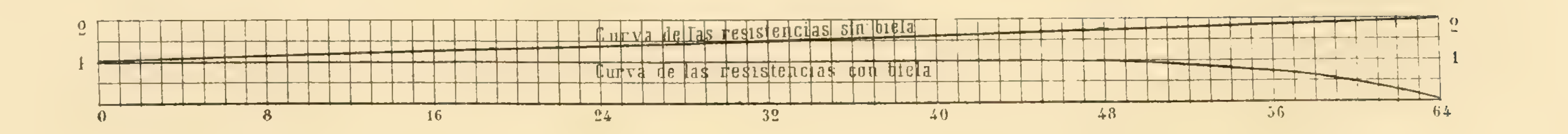
Hay por de pronto 2 posiciones, en que la potencia nada puede, y son por eso llamadas puntos muertos.

---

(1) Rebajo la 2.ª cifra decimal, por no ser infinita la biela.

(Frente á la pág. 684.)

## CURVAS QUE REPRESENTAN EL TRABAJO DE LA COMPRESION DEL AIRE DESDE 1 A 2^AT SIN EL APARATO MANIVELA-BIELA Y CON ÉL.



Hay otras dos en que la potencia actúa sobre todo el brazo de palanca de la manivela, y en las cuales la accion del piston llega á su máximum.

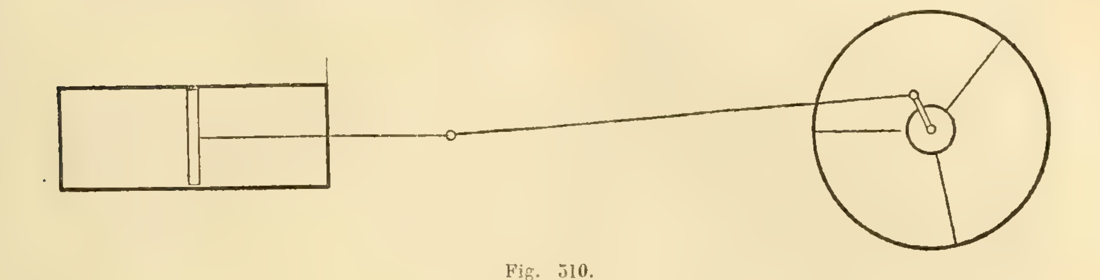


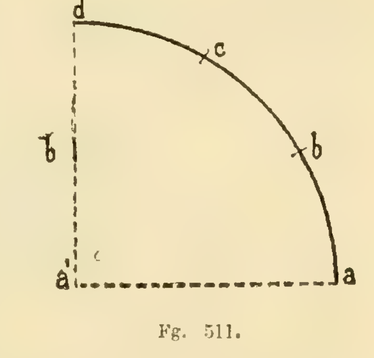
Fig. 510.

Y, por consiguiente, sucede que en una rotacion completa de la manivela, actúa la potencia sobre longitudes diferentes del brazo, puesto que trabaja 2 veces contra brazos de palanca que desde cero llegan á un máximum, para volver desde este máximum á cero.

Pero la manivela, con todo, no hace perder potencia al piston de la máquina de vapor.

En efecto:

Si la manivela echa un tiempo cualquiera en recorrer el arco *a b*, claro es que invertirá 2 tiempos en recorrer el arco *b d;* y si el piston gastó 1 tiempo en subir una longitud igual á *a' b'*, evidente es que invertirá 2 tiempos en la subida correspondiente á *b' d*, lo cual quiere decir que caminará 2 veces más despacio en la última mitad de su ascension.




Fg. 511.

Pero, como lo que se gasta en tiempo se gana en fuerza, de aquí que en el último período se habrá duplicado la potencia recibida desde el piston por la manivela (sea, por otra parte, la que fuere la energía del piston, y hubiérese regularizado como se quiera en el volante).

Además, y esta es la consideracion principal, el volante lleva mayor velocidad al aproximarse la manivela al punto muerto, por haberse almacenado en su masa todos los esfuerzos sucesivos del piston desde el principio de su curso. La velocidad circunferencial es, por tanto, mayor con el mismo gasto de vapor cuando el boton se acerca al punto muerto; y esta acrecentada velocidad compensa exactamente el menguado esfuerzo final del piston; por manera que es siempre igual la potencia transmitida por la biela en cualquiera de los arcos iguales del curso circunferencial de la manivela.

Esta no absorbe, pues, fuerza al trasmitirla á la circunferencia del volante; y el volante, por la regularidad de su inercia, corrige, igualándolas, las irregularidades del organismo «biela-manivela.»

## VIII.

Pero el efecto del organismo «manivela-biela» es diferente, toda vez que con él no tratamos de producir una velocidad circunferencial, sino sencillamente un movimiento rectilíneo.

Y ya se comprende, tanto el motivo de la dificultad en admitir esta doctrina, como la clave de la solucion.

Los organismos son distintos, aunque compuestos de las mismas piezas; su objeto diferente: con la biela-manivela procuramos el movimiento circular contínuo y la igualdad en la velocidad circunferencial de una masa inerte; con la manivela-biela buscamos el movimiento rectilíneo contra un volúmen de gas cada vez más resistente á medida que crece la condensacion.

Es, por tanto, extraordinariamente adecuado, para comprimir masas de resistencia creciente, un organismo que, con movimiento rectilíneo, hace, en tiempos iguales, recorrer á la creciente resistencia caminos cada vez menores.

Y es tanto más de estimar el organismo manivela-biela para el efecto especial del comprimir gases, cuanto que los brazos de palanca decrecen en série más rápida que acrecen las condensaciones, hasta el extremo de hacerse completamente nulo el brazo de la resistencia cuando llega la manivela al punto muerto.

Y, en efecto, dada la posicion de la *figura* 512, toda la resistencia del aire comprimido se ejerce contra el punto-eje de la manivela; y es óbvio que, con poquísimo esfuerzo, puede hacerse llegar á su punto muerto un sistema ya próximo á entrar en él, como el de la *figura* 513.

Efectivamente, muy escasa fuerza bastará para poner en línea recta manivela y biela (*figura* 513), y acabar, por consiguiente, de comprimir el aire encerrado en el cilindro menor, lo poco más que permita aún el pequeño descenso, posible todavía, del émbolo compresor.

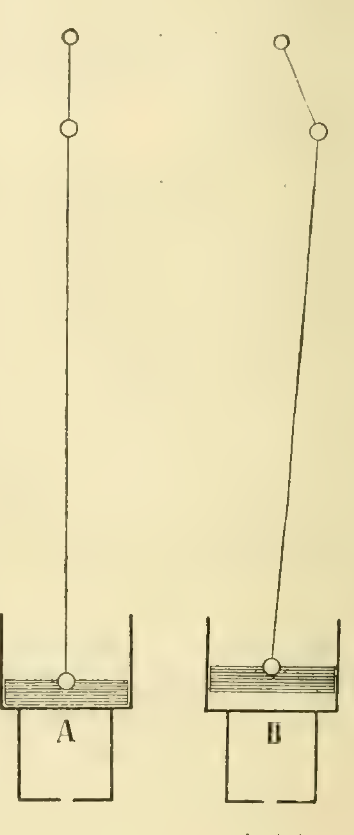


Fig. 512. Fig. 513.

## IX.

Pero hay aún otro género de ventajas.

En el sistema monocilíndrico, en que un piston ande su carrera en 64 segundos, por ejemplo, la condensacion de 1 á $2^{atm}$ se hará en 32 segundos.

Con 2 émbolos, conjugados diferencialmente, la misma condensacion se efectuará en 64 segundos; es decir, con doble lentitud.

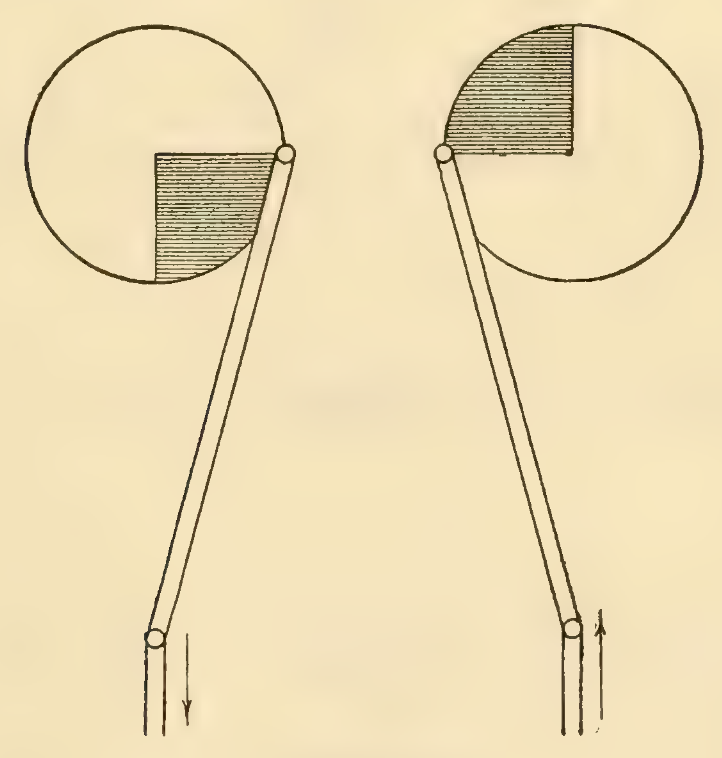
Grande es esta ventaja, pero no es la sola cuando se aplica al organismo manivela-biela.

Si los émbolos diferenciales hubiesen, sin él, caminado 32 segundos, habrian recorrido la mitad de la altura de sus cilindros, y la presion sería de $\frac{4}{3}$ de atmósfera. De modo que, para comprimir desde $\frac{4}{3}$ á 2 atmósferas (precisamente cuando se desarrollará mayor cantidad de calor) quedarían aún 32 segundos.

Pero movidos esos mismos émbolos diferenciales por manivela-biela, cuando hubiese recorrido el boton de ésta 30°, habrian llegado los émbolos á la mitad de su carrera, y el aire estaria á $\frac{4}{3}$ de densidad. Y, como esta compresion se habria verificado en la 3.ª parte de 64 segundos, ó sea en $21\frac{1}{3}$ segundos, quedarian, por consiguiente, todavía $42\frac{2}{3}$ segundos para el resto de la compresion hasta 2 atmósferas; es decir, que se verificaría más lentamente el trabajo de la condensacion cuando hubiera por necesidad de producirse más desarrollo de calor.

## X.

Pero para obtener esta clase de ventajas por el decremento sucesivo de los brazos de manivela, es preciso no utilizar el organismo más que en dos cuadrantes del círculo descrito por la manivela.



Figs. 514 y 515.

Ahora bien: ¿cómo podria esto conseguirse, dado un movimiento circular contínuo en el árbol de una máquina de vapor, por ejemplo, ó de una turbina, ó de una rueda hidráulica cualquiera?

## XI.

Muchos medios ocurren, y tan interesantes me parecen, que á su análisis destino un opúsculo que he trabajado *ad hoc* (1).

Pero doy la preferencia al siguiente:

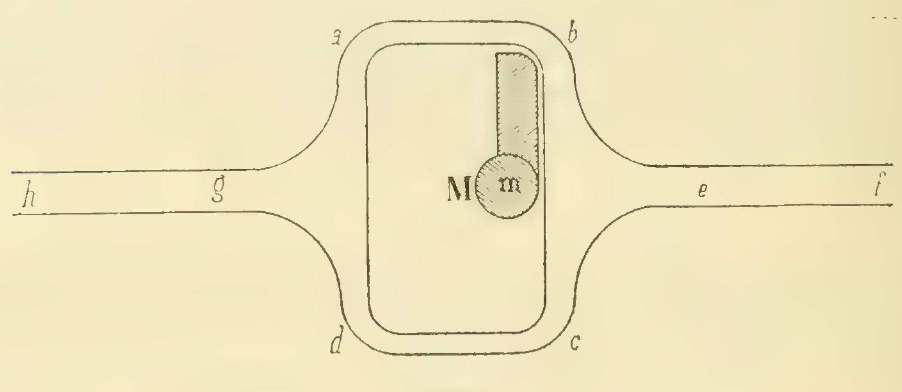



Fig. 516.

Una manivela *M* (*fig.* 515), moviéndose al rededor del punto central *m*, empuja un marco *a b c d* (cuyas barras *e f* y *g h* son los vástagos de los émbolos conjugados), y no deja de moverlo hasta que hace tomar al marco la posi-

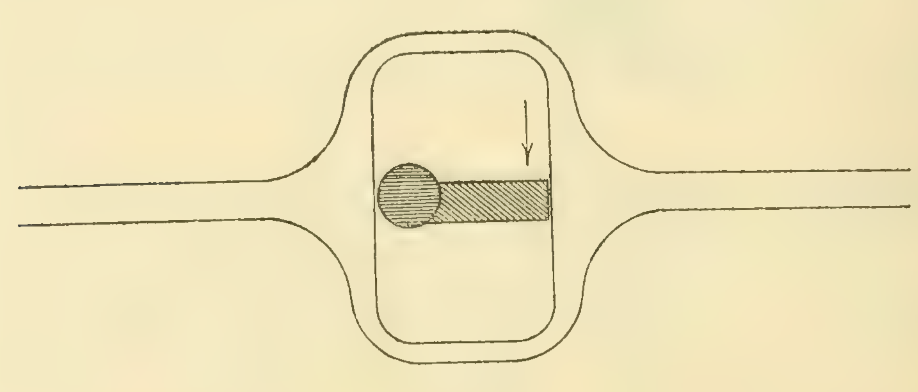


Fig. 517.

cion siguiente (*fig.* 516), en la cual el marco permanece quieto mientras el

---

(1) Este opúsculo se titula Manivelas y bielas como órganos de compresion.

extremo móvil de la manivela, durante un cuadrante, camina sin tocar ninguno de los bordes del bastidor, como indica la *figura* que sigue (518).

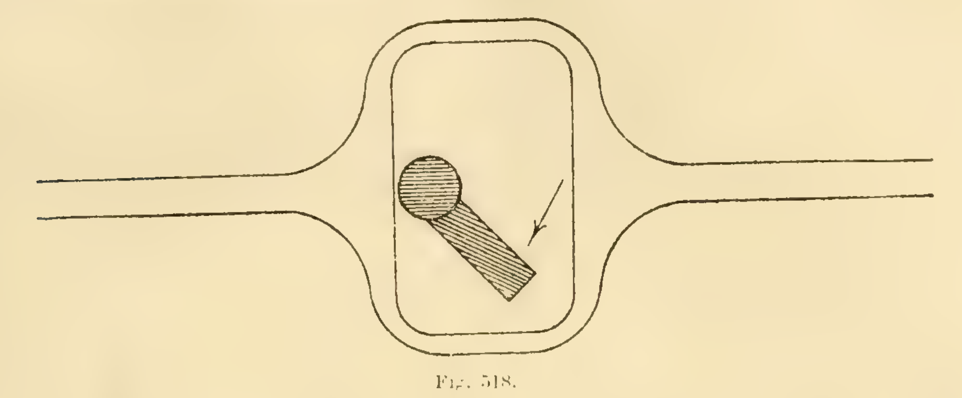


Fig. 518.

Pero en cuanto la manivela encuentra la otra gualdera del marco, el sistema de los émbolos conjugados retrocede durante el tiempo de otro cuadrante, hasta que la manivela vuelve á ponerse horizontal.

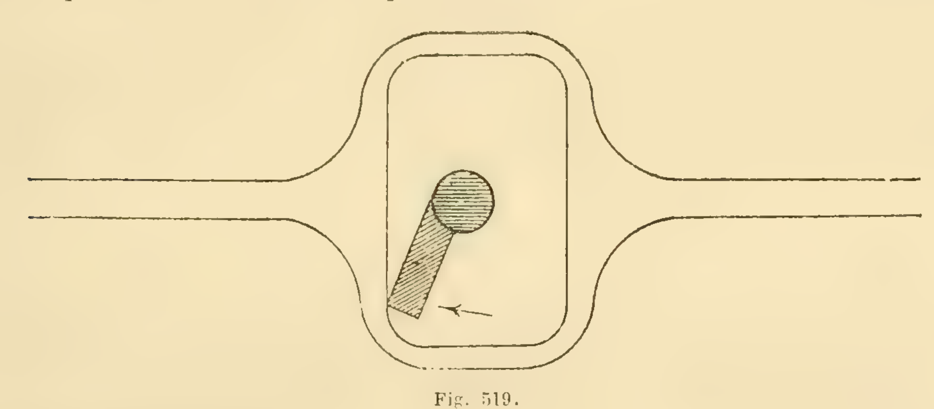


Fig. 519.

Y así sucesivamente.

Por poca que fuese la velocidad de la manivela, su efecto sobre el marco sería desastroso, si lo encontraba en quietud.

Para obviar á este sério inconveniente, la parte de la manivela destinada á empujar el bastidor sería curva: un arco de círculo.

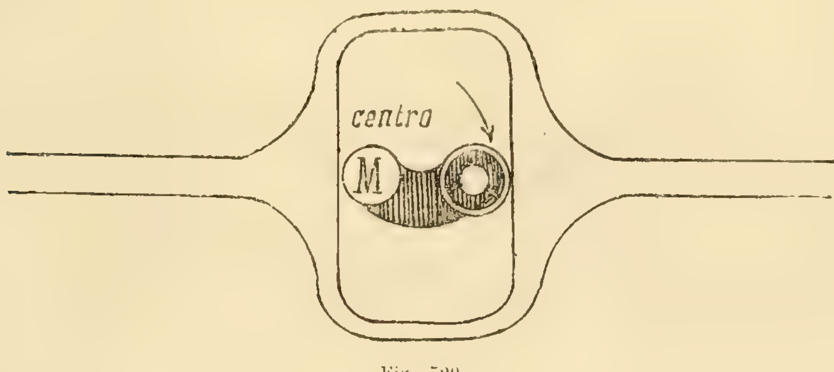



Fig. 520.

De este modo no habria choques.

Y, para evitar los rozamientos con el marco, y convertir el rozamiento de *glissement* ó de deslice, en el de rotacion, la curva terminaría en una rueda, como expresa la *figura* (520) (1).

Este mecanismo realiza casi el *desideratum* de la biela infinita, y ahorra, por consiguiente, la fuerza que se pierde contra las guias ó correderas de la cabeza del vástago del piston, cuando en un cilindro destinado á comprimir aire, la manivela y la biela toman esta posicion.

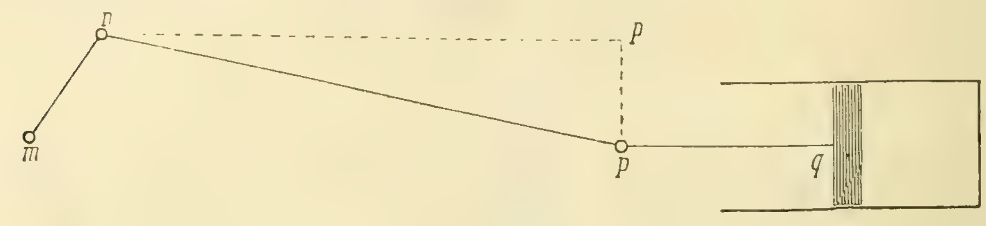



Fig. 521.

Si $mn$ es una manivela, $np$ su biela, y $pq$ el vástago del piston; y si, además, $np$ representa la intensidad y direccion del empuje motor, esa fuerza $np$ se descompondrá en otras dos: una $np'$, que impele el motor; y otra $p'p$, que se pierde contra las guias del vástago $pq$.

## XII.

La manivela curva, actuando contra una biela de bastidor, ofrece la considerable ventaja de hacer la compresion más lentamente aún, que lo haria una manivela no curva.

De modo que la curva, no solo evita los choques, sino que desarrolla ménos cantidad de calor al producir la compresion de un gas.

Tiene, además, la ventaja siguiente.

## XIII.

Si se usan manivelas y bielas de bastidor, es menester que el juego de émbolos conjugados sea doble, so pena de no efectuar la compresion más que un cuadrante sí y otro no, holgando el resto.

---

(1) Reservo la teoría para el opúsculo citado en la nota pág. 668. Otras combinaciones ocurren que pueden verse en él.

Para que el trabajo no sea, pues, intermitente, debe acudirse á la organizacion que sigue:

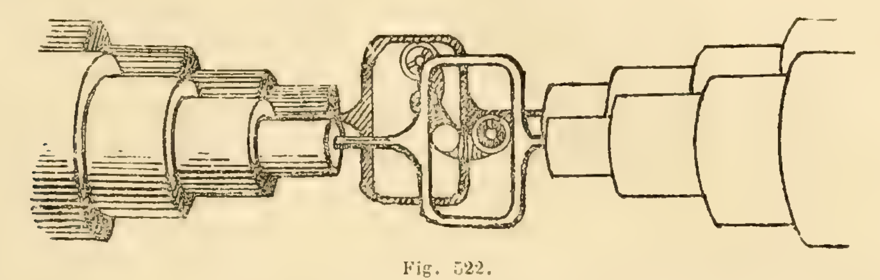
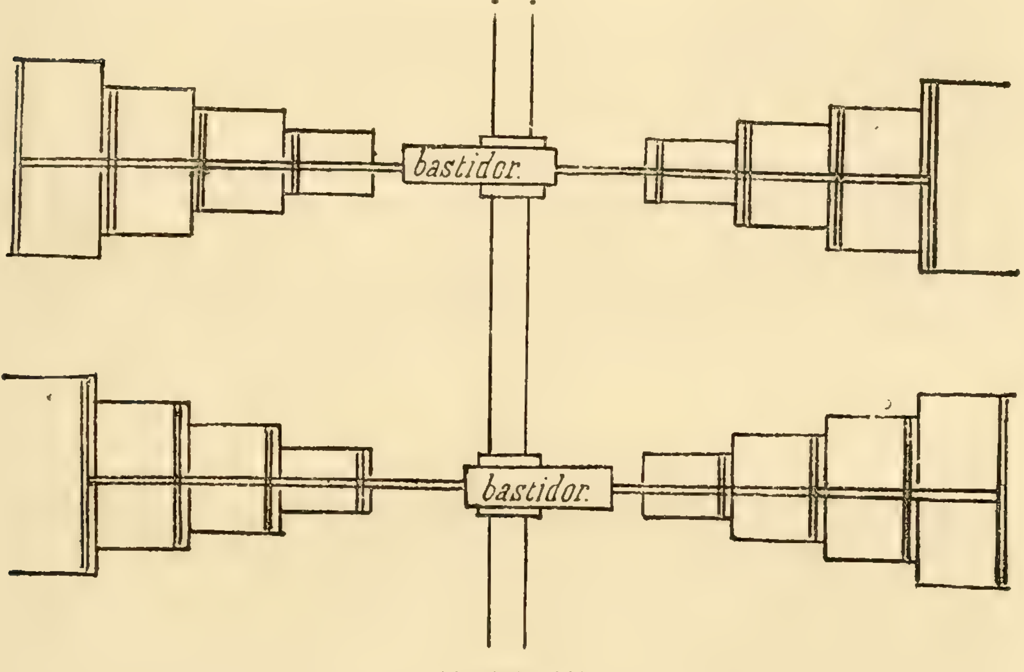


Fig. 522.

Así, mientras huelga (ó casi) una biela de bastidor, trabaja la otra.




Figs. 523 y 524.

Por causa de la curva que impele cada bastidor, empieza cada manivela su trabajo bastante antes del momento en que, sin curva, empezaria.

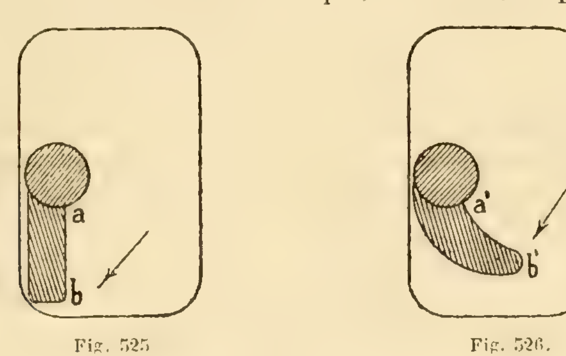



Fig. 525 Fig. 526.

La manivela *a b* (*fig.* 525) empieza su trabajo en cuanto *a b* se pone vertical, y sigue trabajando hasta que se pone horizontal.

Pero la manivela *a' b'* (*fig.* 526) empieza su trabajo mucho antes de llegar *a' b'* á la vertical, y sigue trabajando hasta encontrarse *a' b'* horizontal.

*a b* trabaja solo 90°.

*a' b'* trabaja siempre más de 90° (en cantidad variable, segun la curva).

Con 2 manivelas *a b*, *a' b'* (*fig.* 527), colocadas en un solo árbol á ángulo recto, tendríamos igual á cero el esfuerzo de la manivela horizontal; y desde ese cero, final del trabajo de la horizontal, pasaria el árbol á encontrarse de repente con una resistencia considerable cuando la *a b*, vertical, empezase á empujar su bastidor.

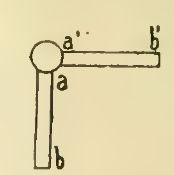


Fig. 527.

Con 2 manivelas curvas, cuyas cuerdas estuviesen implantadas á ángulo recto sobre un mismo árbol, al llegar la una á cero, estaria ya la otra sosteniendo una presion considerable.

El árbol, así, no experimentaría grandes transiciones ni cambios bruscos en su trabajo; pues, mientras iban decreciendo los esfuerzos de la manivela que se acercaba al punto muerto, se iban progresivamente aumentando los esfuerzos de la otra manivela; y, sumados los esfuerzos decrecientes con los crecientes, se obtendria necesariamente una mayor igualdad en las resistencias.

## XIV.

No es lo mismo comprimir el aire de los émbolos diferenciales con una manivela y bastidor de curso $L$, que con una manivela de las comunes y corrientes de longitud $\frac{L}{2}$, aunque la primera trabajando un cuadrante sí y otro no, haga andar á los émbolos el camino $L$; y ésta, trabajando sin cesar una semicircunferencia desde un punto muerto á otro muerto, haga caminar á los émbolos idéntica longitud (1).

Pero, atendiendo á que los resultados, si bien distintos en su disciplina y organizacion, no difieren de un modo muy extraordinario; y, considerando la necesidad de dar facilidades á los constructores de órganos conocidos ya por los industriales, pueden nuestros émbolos conjugados ser puestos en accion, articulando los vástagos á bielas movidas por manivelas comunes y corrientes, sujetas al árbol de la máquina de vapor; ó si, como parece natural, se quieren producir lentamente las compresiones, á manivelas implantadas en el árbol de una segunda ó tercera transmision.

(1) Creo probada esta paradoja en el opúsculo citado, pág. 688.

## XV.

Pero, aparte esto, ya que tan favorables se nos presentan las bielas de bastidor, movamos con ellas émbolos diferenciales; y, así, reuniremos, en combinacion, los medios hasta este instante más adecuados para realizar favorablemente las condensaciones de los gases por medio de cilindros (no de foros).

Pongamos un ejemplo.

Sean 2 los émbolos diferenciales,

:: 2 : 1.

| | | |
|---|---|---|
| Tenga el mayor........ .. | | 2520 modulos |
| Y el menor............. | | 1260 |
| La corona será.......... | = | 1260 |

Calculemos, por via de ensayo, las resistencias de 8 períodos, en que dividiremos la carrera de los émbolos;

Y tendremos, si la carrera de los émbolos es 16, lo que sigue:

*Resistencias de las coronas.*

| | Sin manivela. | Con manivela de bastidor, pero no curva. | Ahorro. |
|---|---|---|---|
| 1.° | $1260 \times \frac{16}{15} = 1344$ | $1344 \times 0{,}98 = 1317$ | 27 |
| 2.° | $1260 \times \frac{16}{14} = 1440$ | $1440 \times 0{,}96 = 1382$ | 58 |
| 3.° | $1260 \times \frac{16}{13} = 1550$ | $1550 \times 0{,}92 = 1426$ | 124 |
| 4.° | $1260 \times \frac{16}{12} = 1680$ | $1680 \times 0{,}86 = 1444$ | 236 |
| 5.° | $1260 \times \frac{16}{11} = 1832$ | $1832 \times 0{,}77 = 1410$ | 422 |
| 6.° | $1260 \times \frac{16}{10} = 2016$ | $2016 \times 0{,}66 = 1330$ | 686 |
| 7.° | $1260 \times \frac{16}{9} = 2240$ | $2240 \times 0{,}47 = 1052$ | 1188 |
| 8.° | $1260 \times \frac{16}{8} = 2520$ | $2520 \times 0, = 0000$ | 2520 |

Fácil es ya comprender cuánto mejores serían los resultados con manivela curva, conjugada con otra, tambien curva, y cuyas cuerdas estuviesen implantadas á ángulo recto sobre un mismo árbol motor (1).

Y de todo, naturalmente, se desprende lo ventajoso de utilizar la expansion del vapor, cuando se comprima el aire con manivela-biela.

## XVI.

Más adelante se verá la descripcion de motores rotatorios destinados á poner en accion los foros celulares conjugados. A mi entender, constituyen un mecanismo más adecuado para recoger la fuerza del mar, y, naturalmente, podrian servir para mover los sistemas de émbolos diferenciales, si los foros no fuesen ya organismos más perfectos, en mi juicio, y más propios para la condensacion industrial del aire.

Esos aparatos, que desde luego tienen el movimiento circular contínuo, podrian, por medios al alcance de cualquiera, mover las bielas de bastidor, actuadas por manivelas curvas, y obtener inmediatamente todas las ventajas que acabamos de manifestar.

---

(1) No se olvide que la manivela curva no excluye el uso de la rueda de la *figura* 520.

# CAPITULO IV.

## RECEPTOR DE LENTITUD PROPORCIONAL AL INCREMENTO DE LA RESISTENCIA.

I.

Puede dar excelentes resultados la aplicacion de los principios anteriores á la máquina hidro-pneumática, sola ó conjugada con otras de su especie.

Su fuerza, aunque constante, puede triunfar de las resistencias crecientes de los émbolos diferenciales aplicada al organismo manivela-biela.

II.

Hé aquí cómo.

El vástago de los cilindros hidro-pneumáticos terminará en una cremallera,

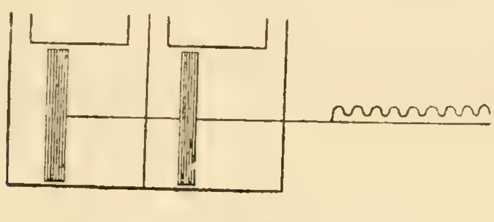


Fig. 528.

dirigida en su marcha rectilínea por guias adecuadas.

En esta cremallera engranará convenientemente un sector circular.

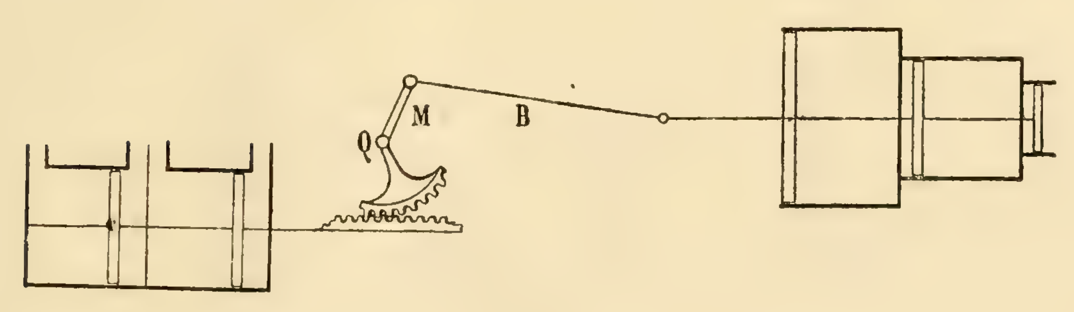



Fig. 529.

Este sector circular girará al rededor del punto $Q$; y, haciendo girar tambien la manivela $M$, hará funcionar los émbolos diferenciales por el intermedio de la biela $B$.

(Siempre supongo que la cuestion de espacio no importará nada á orillas del mar.)

Para que no haya huelga, otra manivela, correspondientemente situada, hará funcionar otra biela, y ésta otro juego de émbolos diferenciales.

El sector puede hallarse vertical ú horizontal, ó bien en posiciones intermedias. Las manivelas pueden estar en el mismo plano del sector, ó bien en otro paralelo, etc.

III.

Caminando el sector en un sentido, comprimirá, por el intermedio de la manivela-biela, el aire de los correspondientes cilindros diferenciales; y caminando en sentido inverso, colocará á los mismos émbolos conjugados en disposicion de volver á comprimir al viaje siguiente; retroceso en el cual solo habrá que vencer resistencias pasivas (que, como pronto veremos, serán crecientes). Despreciemos por ahora estas resistencias, y fijémonos solo en la compresion.

Esta exige esfuerzos gradualmente crecientes, que guardan entre sí cierta proporcion; proporcion que varía segun que existen ó no intercalares. Pues bien: si en la série de las funciones trigonométricas, buscamos una sucesion de cosenos que guarden entre sí la misma proporcion que las resistencias del aire, ú otra muy aproximada, tendremos un medio facilísimo de vencer con un motor de fuerza CONSTANTE, las CRECIENTES resistencias de la condensacion verificada por medio de émbolos diferencialmente conjugados.

Un par de ejemplos acabarán de patentizar estas ideas.

IV.

Dividamos en 8 períodos la condensacion hecha con 2 cilindros diferenciales :: 2 : 1, de las dimensiones siguientes:

Altura, igual en ambos, 16;

| | | |
|---|---|---|
| Base del mayor | ........................ | 2520$^{mod}$ |
| Base del menor | ........................ | 1260 |
| Resistencias (véase pág. 693) | 1.$^{er}$ período. | 1344 |
| | 2.$^{o}$........ | 1440 |
| | 3.$^{o}$........ | 1550 |
| | 4.$^{o}$........ | 1680 |
| | 5.$^{o}$........ | 1832 |
| | 6.$^{o}$........ | 2016 |
| | 7.$^{o}$........ | 2240 |
| | 8.$^{o}$........ | 2520 |

Coloquemos la manivela $O\ Q$ de tal modo, que el sector, dependiendo de la cremallera, no le haga describir más que un arco, comprendido entre 20° y

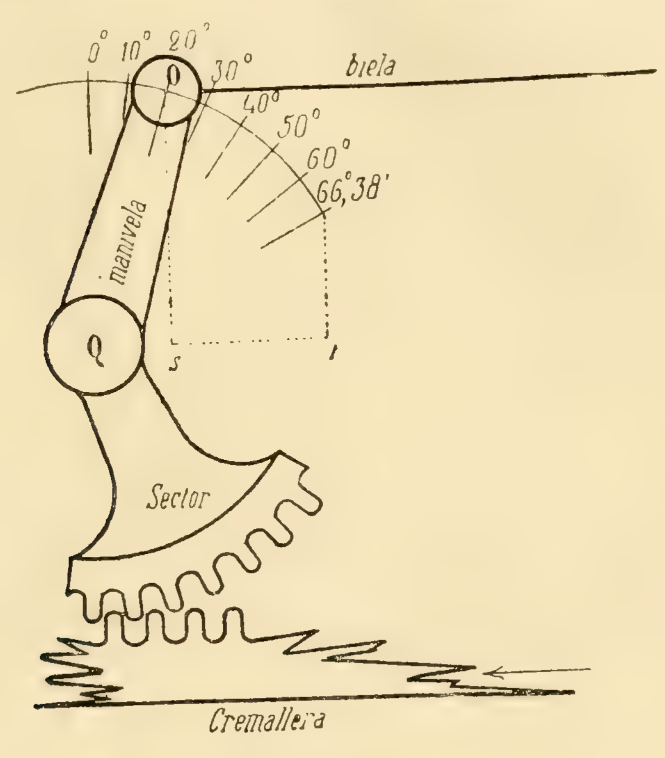



Fig. 530.

66° 38'; lo cual se conseguirá siempre que la línea 0° $Q$ sea perpendicular á la direccion de la cremallera.

La carrera de los émbolos conjugados, compresores del aire en los cilindros diferenciales, será igual á la distancia $s\ t$.

Y, evidentemente, al comprimir, los brazos de palanca decrecen, puesto que al empezar, su longitud es igual á la línea $s$ 20°; y, al terminar, es igual á la línea $t$ 66°,38'.

En el movimiento retrógrado los brazos de palanca aumentan: por consiguiente, crecen las resistencias pasivas (como antes anuncié, pero este aumento no merece especial mencion).

Dividiendo ahora en 8 períodos iguales la carrera $s\ t$, tendremos:

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Punto inicial. | 20°, | | seno | 0,342, | coseno | 0,940; |
| 1.er período.. | 24°, | 30' | » | 0,414 | » | 0,910; |
| 2.° período.. | 29°, | 5' | » | 0,486 | » | 0,874; |
| 3.° período.. | 33°, | 55' | » | 0,558 | » | 0,830; |
| 4.° período.. | 39°, | 3' | » | 0,630 | » | 0,787; |
| 5.° período.. | 44°, | 35' | » | 0,702 | » | 0,712; |
| 6.° período.. | 50°, | 43' | » | 0,774 | » | 0,633; |
| 7.° período.. | 57°, | 47' | » | 0,846 | » | 0,533; |
| 8.° período.. | 66°, | 38' | » | 0,918 | » | 0,397. |

Aquí se ve que la carrera de los émbolos diferenciales, ó sea la línea *s t*, es igual á 0,918 — 342 = 0,576;

Y que la relacion de los brazos de palanca inicial y final es $= \frac{397}{940}$.

Multiplicando ahora las presiones, es decir, las resistencias, por los brazos de palanca, tendremos la série de los esfuerzos:

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Inicio............ | 1260 | × | 0,940 | = | 1184; |
| Fin del 1.$^{er}$ período. | 1344 | × | 0,910 | = | 1223; |
| del 2.º........ | 1440 | × | 0,874 | = | 1258; |
| del 3.º........ | 1550 | × | 0,830 | = | 1286; |
| del 4.º........ | 1680 | × | 0,767 | = | 1288; |
| del 5.º........ | 1862 | × | 0,712 | = | 1304: |
| del 6.º........ | 2016 | × | 0,633 | = | 1276; |
| del 7.º. ...... | 2240 | × | 0,533 | = | 1194; |
| del 8.º...... . | 2520 | × | 0,397 | = | 1000. |

Bien se ve cuánta igualdad presenta esta série de esfuerzos, igualdad que aparecerá mucho más visible, considerando que, hácia el fin de la carrera, necesitamos un sobrante de potencia para vencer el aumento de las resistencias pasivas del segundo juego de émbolos conjugados (que acaba de prepararse á funcionar, precisamente cuando el primer juego termina su compresion).

V.

Diferente carrera *s t* daria otros resultados. Mientras menor el arco recorrido por la manivela (dentro de ciertos límites), más cercana la igualacion de los esfuerzos.

VI.

Los intercalares favorecen esta igualacion.

Supongamos un intercalar geométrico entre otros dos :: 2 : 1, y cuyas bases sean respectivamente 2520 y 1260 módulos; la altura comun = 16.

La base de este intercalar será:

$$1782 = 1260 \times \sqrt{2} = \frac{2520}{\sqrt{2}}:$$

Y la corona, diferencia entre el cilindro mayor y el intercalar.

$$= 2520 - 1782 = 738^{mod};$$

Los volúmenes de aire comprimido entre el cilindro mayor y el intercalar, serán, si dividimos la condensacion en 8 períodos:

1.° $2520 \times 14 + 1782 \times 2 = 2520 \times 14 + \frac{2520}{\sqrt{2}} \times 2 = 2520 \left(14 + \frac{2}{\sqrt{2}}\right)$;

2.° $2520 \times 12 + 1782 \times 4 = 2520 \times 12 + \frac{2520}{\sqrt{2}} \times 4 = 2520 \left(12 + \frac{4}{\sqrt{2}}\right)$, etc.

Las presiones, por consiguiente,

$$\frac{2520 \times 16}{2520 \times \left(14 + \frac{2}{\sqrt{2}}\right)} = \frac{16}{14 + \frac{2}{\sqrt{2}}}$$

$$\frac{2520 \times 16}{2520 \times \left(12 + \frac{4}{\sqrt{2}}\right)} = \frac{16}{12 + \frac{4}{\sqrt{2}}}, \text{ etc.}$$

Y, por tanto, los esfuerzos resultarán como sigue:

$$738 \times \left(\frac{16}{14 + \frac{2}{\sqrt{2}}} = \frac{16}{14 + 1,414} = 1,038\right) = 766,044;$$

$$738 \times \left(\frac{16}{12 + \frac{4}{\sqrt{2}}} = \frac{16}{12 + (2 \times 1,414)} = 1,079\right) = 796,302;$$

$$738 \times \left(\frac{16}{10 + \frac{6}{\sqrt{2}}} = \frac{16}{10 + (3 \times 1,414)} = 1,123\right) = 828,774;$$

$$738 \times \left(\frac{16}{8 + \frac{8}{\sqrt{2}}} = \frac{16}{8 + (4 \times 1,414)} = 1,171\right) = 864,198;$$

$$738 \times \left(\frac{16}{6 + \frac{10}{\sqrt{2}}} = \frac{16}{6 + (5 \times 1,414)} = 1,224\right) = 903,312;$$

$$738 \times \left(\frac{16}{4 + \frac{12}{\sqrt{2}}} = \frac{16}{4 \times (6 \times 1,414)} = 1,281\right) = 945,378;$$

$$738 \times \left(\frac{16}{2 + \frac{14}{\sqrt{2}}} = \frac{16}{2 + (7 \times 1,414)} = 1,344\right) = 991,872;$$

$$738 \times \left(\frac{16}{0 + \frac{16}{\sqrt{2}}} = \frac{16}{0 + (8 \times 1,414)} = 1,414\right) = 1043,532.$$

Dispongamos ahora la cremallera y el sector, de modo que la manivela sea susceptible de caminar desde 3° hasta 46°,53'; y, si dividimos la carrera de la biela en 8 períodos iguales, tendremos:

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Inicio...... | 3° | | seno | 0,050, | coseno | 0,999; |
| 1.$^{er}$ período. | 7° | 46' | » | 0,135 | » | 0,901; |
| 2.°........ | 12° | 43' | » | 0,220 | » | 0,975; |
| 3.°........ | 17° | 46' | » | 0,305 | » | 0,952; |
| 4.°........ | 22° | 57' | » | 0,390 | » | 0,921; |
| 5.°........ | 28° | 22' | » | 0,475 | » | 0,880; |
| 6.°........ | 34° | 3' | » | 0.560 | » | 0,828; |
| 7.°........ | 40° | 10' | » | 0,645 | » | 0,764; |
| 8.°........ | 46° | 53' | » | 0,730 | » | 0,683. |

La carrera $s\,t$ es ahora igual á

$$0{,}730 - 0{,}050 = 0{,}680;$$

Y la razon entre los brazos $\frac{683}{999}$ .

La série de los esfuerzos será, pues:

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Inicio......... | 738 | × | 0,050 | = | 737; |
| Fin 1.$^{er}$ período. | 766 | × | 0,135 | = | 759; |
| 2.°........ | 796 | × | 0,220 | = | 776; |
| 3.°........ | 829 | × | 0,305 | = | 789; |
| 4.°........ | 864 | × | 0,390 | = | 795; |
| 5.°........ | 903 | × | 0,475 | = | 794; |
| 6.°........ | 945 | × | 0,560 | = | 782; |
| 7.°........ | 992 | × | 0,645 | = | 758; |
| 8.°........ | 1043 | × | 0,730 | = | 712. |

resistencias ya muy poco diferentes entre sí.

## VII.

Gradualmente, y casi al compás del incremento de las resistencias producidas por la compresion, decrecen estos brazos de palanca, cosenos de la rotacion de la manivela-biela.

Con este organismo y los cilindros hidro-pneumáticos, podemos hacer cantidad constante, casi, á la resistencia que ofrece la condensacion del aire por medio del sistema policilíndrico diferencial.

# CAPITULO V.

## RECEPTORES DE PODER CONSTANTE.

---

### I.

Si hubiésemos de emplear alguno de los motores hidráulicos de movimiento circular contínuo conocidos hasta el dia, nos habríamos de encontrar con no leves dificultades.

Para aprovechar la fuerza del mar, necesitamos organismos que reunan muchas condiciones, algunas casi incompatibles.

1.° Han de trabajar con gran lentitud, á fin de que las condensaciones del aire se efectúen muy despacio, evitando así la acumulacion del calor, etc.

2.° Han de utilizar abundantes cantidades de agua del mar;

3.° Han de funcionar con caidas de poca altura;

4.° Han de acomodarse á la constante variacion de niveles de las pleamares y de las bajamares; así, entre dos mareas consecutivas, como entre las extremas equinocciales y solsticiales.

Las ruedas de cajones pierden mucho de la caida total del líquido, porque la sábana de agua motora tiene que estar más alta que el primer cajon, y porque éstos empiezan á vaciarse mucho antes de llegar al nivel inferior de la caida (1).

En estas ruedas, así como en las ruedas de *côté*, los movimientos tumultuosos, los choques dislocados y las reacciones convulsivas del agua al entrar, y los torbellinos antes de aquietarse, para ejercer toda su presion sobre los receptores, hacen perder considerablemente á la potencia. Por otra parte, la velocidad que se consiente á estas ruedas, permite al agua correr tras de sí misma antes de ejercer y utilizar por completo toda su gravedad. Además, tiene que limitarse el gasto próximamente á 200 litros por segundo y por metro de anchura de las paletas ó de los cajones, y exigen caidas ó pesos de agua superiores á $1^m,50$.

---

(1) Mr. W.$^{m}$ L. Orram, of Morris Gap, Tenn, has patented an improved «Endless chain-water-wheel,» which is so constructed that the water may exert the full power of its weight for the longest possible time. *(S. Am.* 28 setiembre 1878, pág. 105.)

La PONCELET necesita condiciones de velocidad que, para comprimir directamente el aire, serían excesivas.

Mayor inconveniente presentaría la exagerada velocidad de las turbinas, preciosísimos aparatos que funcionan enteramente sumergidos.

En la práctica, todos estos diferentes motores utilizan del 50 al 70 por 100 de la fuerza motriz. La PONCELET suele no llegar al 60 por 100. Las ruedas de cajones y de *côté* necesitan, para aproximarse al 70 por 100, alturas de $3^{m}$; y las turbinas, por mucho que, respecto al rendimiento, se ponderen sus indisputables ventajas, se quedan las más veces por debajo del 60 por 100, en atencion á que la aspiracion del agua, para una misma abra de los orificios de salida, varía entre extensos límites con los aumentos ó disminuciones de la velocidad (1). Presentan, sin embargo, la inapreciable ventaja de poder consumir volúmenes de agua muy considerables, y de trabajar con cualquiera altura apreciable de nivel.

Existe, además de los mencionados, un motor hidráulico, que trabaja lentamente, gasta grandes masas de líquido, y utiliza más del 90 por 100 de la fuerza motriz, por la serenidad con que admite el fluido entre sus palas, por la suavidad con que permite su salida, por conservar invariable el nivel del agua motora en los compartimientos de sus paletas, y por la circunstancia de mantener constante su rendimiento, aunque las caidas de agua varíen entre $1^{m}$ y $4^{m}$.

Este excepcional mecanismo, apenas conocido en España mas que de los hombres de ciencia, es la rueda SAGEBIEN *à aubes immergeantes renversées et à niveau maintenu dans les aubes*. El autor, despues de sufrir, por parte de los ingenieros de su país mismo, un desden inconcebible que ha durado muchos años, ha obtenido el alto honor de ser coronado por la Academia de Ciencias de París.

Si á alguno, pues, de los conocidos motores de movimiento circular contínuo hubiera de recurrirse para el movimiento de los foros celulares, no podria, á mi juicio, ser dudosa la eleccion de la rueda SAGEBIEN. Es el único motor hidráulico que, en buenas condiciones, devuelve hasta el 96 por 100 de la fuerza motriz que ha recibido.

Esta rueda puede utilizar desde 200 litros hasta 10000 por segundo de tiempo; y marcha siempre bien con caidas de agua tan distantes como $0^{m},30$ y $4^{m}$. Y, en fin (diferente en esto de los demás motores hidráulicos), su rendimiento permanece sensiblemente constante ó casi idéntico.

Su altura, ó sea su diámetro, no pasa de $10^{m}$, y la velocidad de la rueda en la circunferencia no excede de $0^{m},80$: regularmente es solo de $0^{m},65$ por segundo.

---

(1) Me aseguran evitado este inconveniente en las mejoras de la turbina MORENO y de la FRANCIS.

La siguiente *figura* (531) da idea de una SAGEBIEN de las dimensiones que á continuacion se expresan.

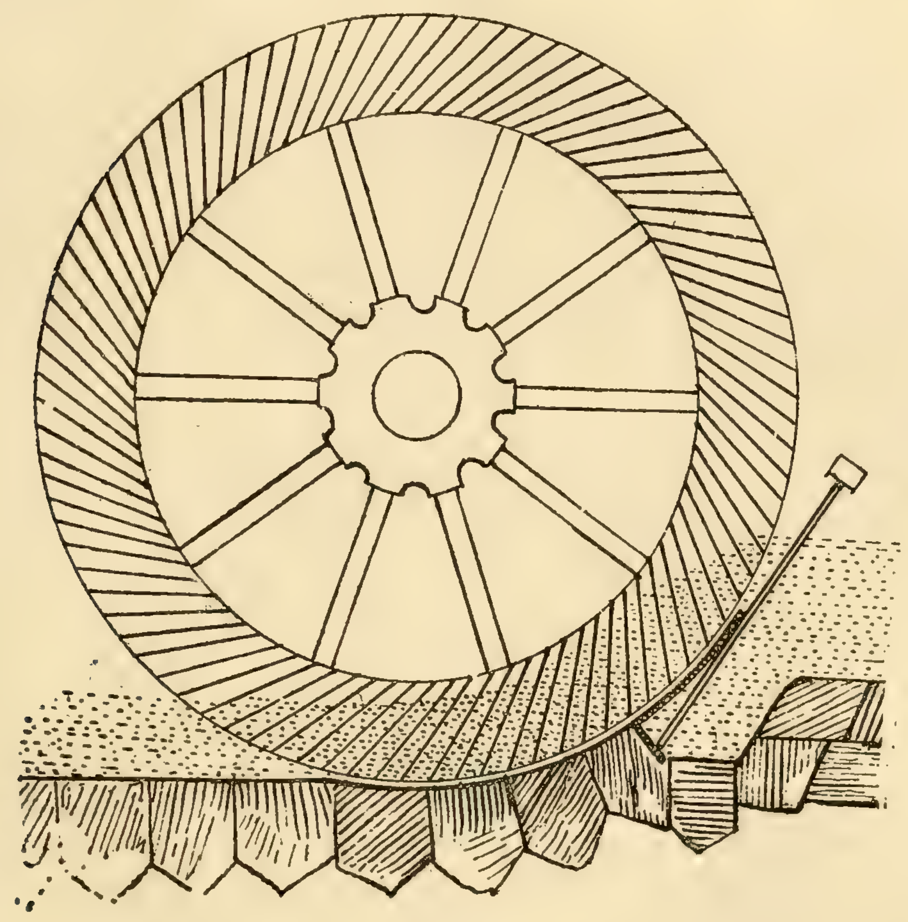


Fig. 531.

| | |
|---|---|
| Diámetro de la rueda............................... | $9^{m}$ |
| Anchura de las palas paralelamente al eje................ | $4^{m}$ ,26 |
| | |
| Con una caida de agua...............................= | $2^{m}$ ,40 |
| los datos y resultados son los siguientes: | |
| Gasto de agua por segundo............................ | $2^{m^3}$,724 |
| por dia................................. | $235353^{m^3}$,600 |
| Longitud bañada en las palas invertidas.................. | $1^{m}$ ,35 |
| Volúmen del agua entre las palas...................... | $13^{m^3}$,856 |
| Vueltas de la rueda en 60 segundos.................... | 1 ,4 |
| Velocidad en la circunferencia.......................... | $0^{m}$ ,66 |
| Trabajo teórico en caballos-vapor....................... | $87^{cab}$,17 |
| Trabajo, encontrado al freno, sobre un árbol de 3.ª transmision. | $81^{cab}$ |
| Rendimiento ó utilizacion de la fuerza motriz (93 por 100).. | 0,9294 |
| Medido el efecto útil sobre el árbol mismo de la rueda, habria aparecido el rendimiento acaso.................... > | 0,95 |

II.

Dados estos antecedentes, si en el interior de una rueda Sagebien colocásemos un foro, ó un sistema de foros celulares, éste, ó estos aparatos compresores, podrian servir de armazon á la misma Sagebien; y, sin necesidad de engranajes ni de transmisiones de ninguna clase, sino directamente, ¡circunstancia preciosísima! tendríamos cada 47 ó 48 segundos (pues esta es la velocidad normal de la Sagebien) condensados, ó recondensados, ó percondensados, los metros cúbicos de aire sobre que ejerciese su accion el foro, ó los foros celulares albergados en el interior de la Sagebien.

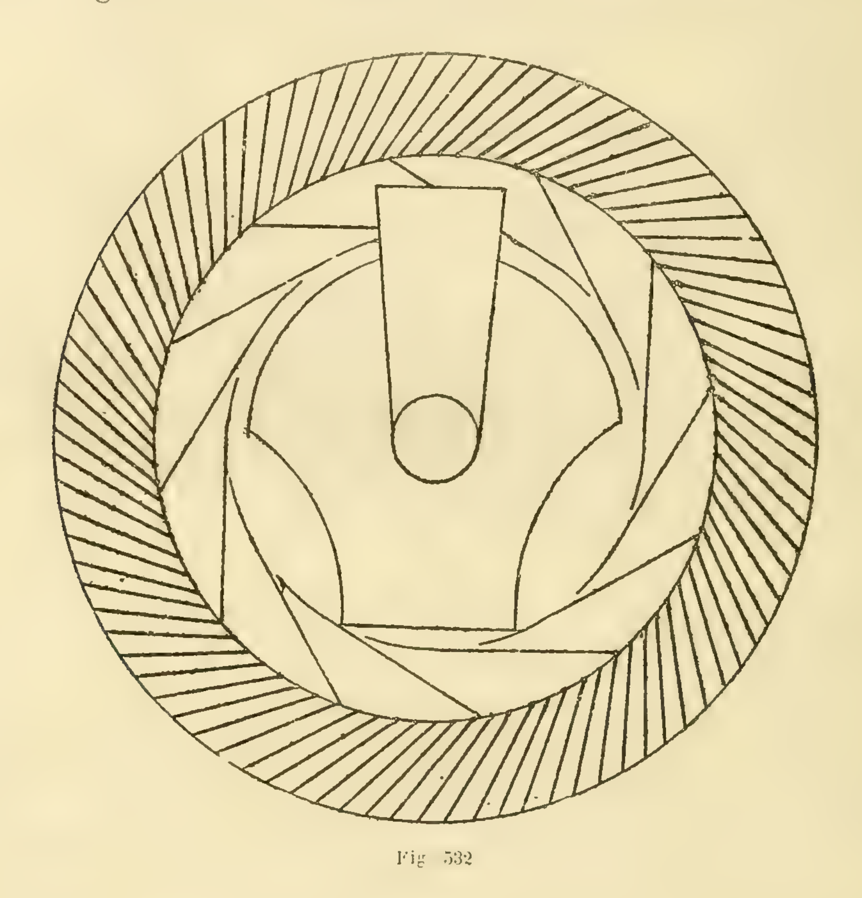


Fig 532

III.

Nada más sencillo donde sean constantes, ó varíen entre reducidos límites los niveles anterior y posterior del agua represada para servir de fuerza motriz.

Pero, tratándose de las mareas, el eje de la Sagebien no puede estar fijo, sino que tiene precision de subir y bajar paralelamente á sí mismo para acomodarse á las alturas de las menguantes y las crecientes, tan inconstantes durante todo el año.

Sin duda que la dificultad no es insuperable; pero es una dificultad.

Prensas hidráulicas podrian subir y bajar el aparato segun fuese necesario.....: mejor acaso sería tener suspendida la Sagebien en flotadores, que, al mismo tiempo, fuesen grandes depósitos de aire comprimido; pero, en todo caso, habria que hacer frente á una verdadera dificultad.

Por esta razon:

El semi-anillo compresor de un doble foro branquial ofrece siempre la misma Resistencia; y por consiguiente, es indispensable que la Sagebien posea siempre la misma Potencia, sea la que quiera la diferencia entre una menguante y una creciente. La Sagebien ostenta la inapreciable cualidad de devolver el 90 por 100, así cuando cuenta con un peso de agua = $1^{m}$, como cuando cuenta con 3, pero su potencia es en el primer caso la tercera parte que en el segundo. Si para mover un foro, ó un conjunto de ellos, necesita el motor hidráulico un peso de agua = $2^{m}$, claro es que cuando solo actúe $1^{m}$ sobre él, le será imposible vencer la resistencia foral constantemente invariable.

## IV.

La marea, á mi entender, necesita un receptor *ad hoc.*

La Sagebien requiere instalaciones, que no juzgo libres de inconvenientes.

Las turbinas dejan sin utilizar respetable fraccion de la fuerza motriz. Su gran velocidad tendria que amortiguarse, á costa de grandes resistencias pasivas, por medio de numerosos engranajes.....: su lubricacion exige grasas de primera calidad, cuyo costo importa nada ménos, en los grandes aparatos, que el 25 por 100 de los gastos *d'entretien*, incluso el personal (1).

Hé aquí por qué (á pesar de mi predileccion por la Sagebien) me di á imaginar un receptor adecuado, que reuniese, cuando ménos, las ventajas de la turbina y de la misma Sagebien.

## V.

Yo queria que el nuevo receptor:

1.° No exigiese gastos de lubricacion;

2.° No estuviese ocasionado á averías de reparacion costosa;

---

(1) Recuérdese que la lubricacion importa más que el personal en el canal de L'Aisne.

3.° Fuese de suma sencillez y considerable resistencia;
4.° Produjese directamente el movimiento circular contínuo;
5.° Funcionase dentro del agua;
6.° Trabajase con cualquiera altura apreciable de nivel;
7.° No diese lugar á remolinos ni sacudidas, al admitir el líquido motor;
8.° Consumiese enormes volúmenes de agua marina;
9.° Girase con suma lentitud;
10. Fuese, sin embargo, susceptible de distintas velocidades;
11. Y últimamente, nótese esto bien, desarrollase constantemente la misma potencia en toda clase de mareas, dependiendo de la velocidad la mayor ó menor suma de trabajo.

Al principio me parecian incompatibles algunas condiciones del programa; pero al cabo las juzgué conciliadas como sigue.

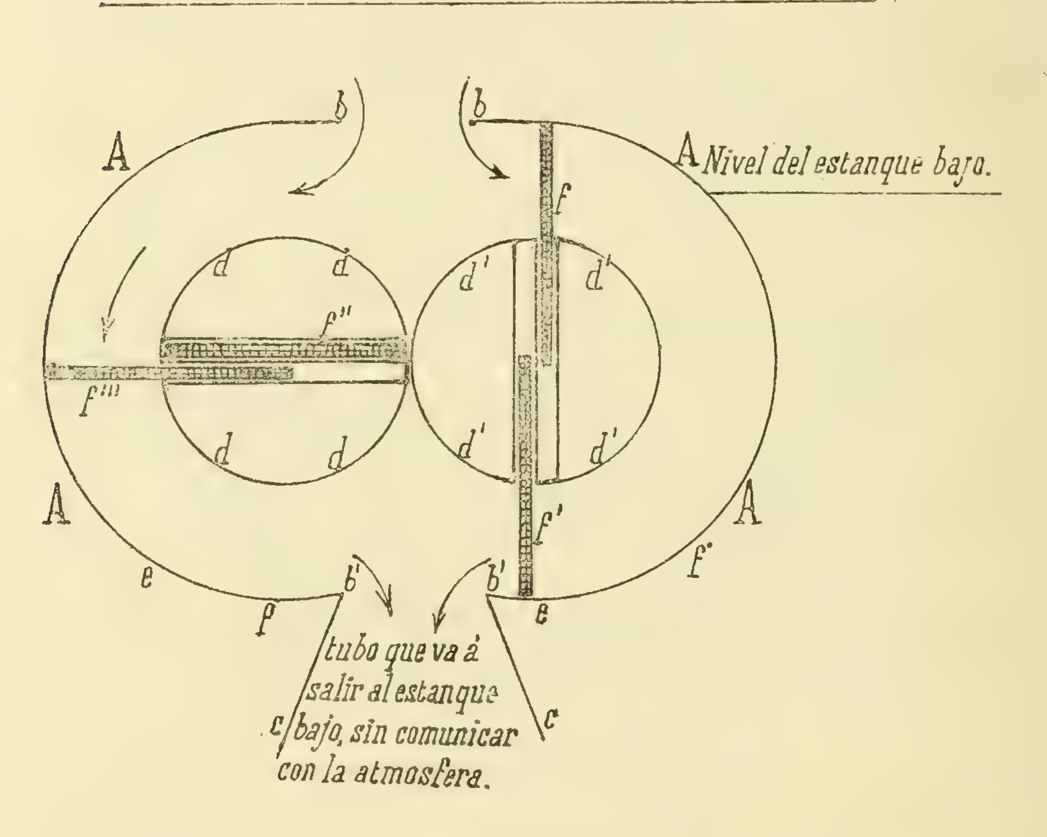



Fig. 533.

## VI.

*A A A A* es una caja formada de 2 hemi-cilindros en su parte curva, y de superficies planas por delante y por detrás.

*d d d d* y *d' d' d' d'* son dos cilindros gemelos concéntricos con *A A A A*, y tangentes entre sí, como representa la *figura* 533.

La caja exterior con sus cilindros gemelos está sumergida; el abra rectangular *b b* comunica con el estanque alto, y la inferior *b' b'* con el estanque bajo, por medio de un tubo incomunicado con la atmósfera (1). Estas abras rectangulares, superior é inferior, tienen la misma longitud que las generatrices de las superficies hemi-cilíndricas, ó poco ménos; y están horizontales. Organismos *ad hoc* (no indicados) pueden angostar más ó ménos el abra rectangular superior *b b;* pero la inferior *b' b'* es invariable, y más ancha, en todo caso, que la superior variable *b b*.

Por consiguiente, el agua del estanque alto no puede trasladarse al estanque bajo sino á través del aparato, recorriendo á derecha é izquierda el espacio intercilíndrico: entrará por el rectángulo superior horizontal *b b*, y saldrá por el tubo *b' b' c c*, que (no se olvide) desemboca en el estanque bajo sin comunicar nunca en su trayecto con la atmósfera.

Los cilindros gemelos *d d d d* y *d' d' d' d'* giran inversamente por medio de dos ruedas dentadas, EXTERIORES á la gran caja *A A A A*, y sujetas, cada una, al eje de cada cilindro-gemelo. Imagínelas siempre el lector.

Cada uno de los cilindros *d d d d* y *d' d' d' d'* está dividido por un plano diametral, el cual sirve de tabique divisorio á dos profundas ranuras que se extienden del un fondo circular al otro fondo circular, paralelamente al eje *(figura* 534*)*.

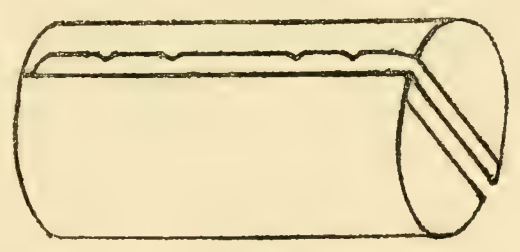


Fig. 534.

---

(1) Téngase presente que los recodos no influyen en la intensidad de la potencia si sus radios son

$$5 \times \text{radio del tubo.}$$

Por lo demás, nada importa la posicion del tubo (ya esté horizontal, ya sucesivamente inclinado, hácia arriba ó hácia abajo) respecto á la cantidad de agua que descargue, puesto que la carga hidráulica es siempre la distancia vertical entre el nivel superior del líquido y el centro de gravedad del orificio de salida.

En estas ranuras juegan las palas $f$, $f'$, $f''$ y $f'''$. Estas palas son de hierro, y mejor, de acero, huecas, formadas de planchas en *T* y en *U* (*fig.* 535), y

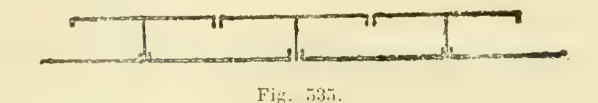


Fig. 535.

construidas de tal modo, que siempre resulten impermeables y más ligeras que el agua. Esta construccion garantiza su rigidez y una enorme resistencia.

Siendo el peso de cada pala algo menor que el del agua desalojada por ella, subirá necesariamente la que se halle en la posicion de la pala $f$ (*fig.* 533) hasta tocar con la parte superior de la caja exterior *A A*, cuando, girando los cilindros gemelos, se aproxime la ranura á la posicion vertical (y aun antes). Y la pala que se encuentre en la posicion de la $f'$ se introducirá en su ranura ó estuche, en cuanto se vea abandonada á sí misma. Organismos no dibujados la dejarán libre en el momento oportuno. Imagínelos el lector.

Lo mismo acontecerá con las palas $f''$ y $f'''$, en cuanto salgan suficientemente de la posicion horizontal.

Y hé aquí por qué la parte no diametral de cada ranura estará constituida por una superficie suficientemente undulada, (*fig.* 534), á fin de que, en la introduccion de cada pala, no experimente dificultades el líquido al desalojar la cavidad, ni al rellenar el espacio que resulte vacío cuando salga una de las palas.

Como se ve, costará muy poca fuerza el funcionamiento del aparato. La introgresion y la egresion de cada pala tiene que ocurrir necesariamente en virtud del principio de Arquímedes. Una ley natural, constante y permanente, se encarga, pues, de este mecanismo.

Sin embargo, para evitar algun retardo fortuito en el movimiento ascensional de las palas, y, sobre todo, para impedir los golpes, que de seguro darian estos flotadores en su marcha de velocidad uniformemente acelerada, será regulado su movimiento por medio de guias, empotradas en la caja *A A A A* y en sus fondos laterales. Fácilmente puede suplirlas el lector. Además, las palas, á fin de evitar trepidaciones, no tendrian más juego en sus estuches que el estrictamente necesario para deslizarse con facilidad sin crear rozamientos de presion.

Las guias en todo caso serán indispensables, como antes se ha indicado, en los espacios *e f* del último cuadrante (*fig.* 533), en cada hemi-cilindro, para impedir que cada pala se aloje en su estuche antes de tiempo, es decir, antes de ponerse vertical, que es justamente el momento en que debe quedar abandonada á sí misma. (En la práctica podrá ser, sin inconveniente, un poco antes.)

Entendido todo esto, claro es que el agua de la marea, entrando por *b b* (*figura* 533), no puede salir por *b' b' c c* sino despues de haber hecho girar á cada pala por el espacio intercilíndrico desde la parte superior hasta la parte inferior.

Cada pala, pues, sufre en la cara que mira hácia *b b*, una presion (más ó ménos considerable segun la carga) causada por el agua del estanque alto; y al mismo tiempo experimenta una succion por la cara que mira hácia *b′ b′*; porque TENIENDO SIEMPRE el abra inferior de salida *b′ b′* mayor anchura que el abra superior de entrada *b b*, tenderá constantemente el agua á salir en ménos tiempo del que necesitó para entrar.

Generalizando, podremos decir, que no puede caminar el agua entre las superficies cilíndricas al dirigirse desde el estanque alto al estanque bajo, sino haciendo girar las palas en virtud de presion y succion simultáneas, y obligándolas á recorrer el espacio intercilíndrico.

El aparato, pues, que acabamos de estudiar, es un aparato doblemente rotatorio, que funcionará con cuanta lentitud se quiera, puesto que todo dependerá del abra que se permita al rectángulo de entrada *b b*.

El agua, por tanto, obrará como en la prensa hidráulica; y la potencia práctica y efectiva diferirá muy poco, á mi entender, de la teórica; pues, como se echa fácilmente de ver, los rozamientos internos son nulos, ó casi; y poco considerables las resistencias pasivas. El principio de PASCAL es aquí tan aplicable como en el cap. II de este Libro (pág. 670).

## VII.

Este aparato, doblemente rotatorio, puede adoptar la forma siguiente (*figura* 536).

Fig. 536.

Las palas, HUECAS, DE ACERO, Y DE MENOS PESO QUE EL AGUA, son ahora curvas, arcos de círculo de más ó ménos grados, ó, mejor dicho, secciones cilíndricas (*fig.* 536).

Se alojan en estuches preparados en la superficie misma de los cilindros gemelos. Estos giran como antes por medio de ruedas dentadas ESTERIORES. Imagínelas el lector.

Las palas curvas giran al rededor de los grandes ejes *G G G G.*

Cuando las palas curvas llegan á los espacios neutros *N N* (donde las presiones del agua marina se destruyen por iguales y contrarias) ascienden necesariamente á virtud de su menor peso, girando al rededor de su eje respectivo: la *f''* en la *figura* 536, para entrar en su estuche; la *f* para alejarse lo más posible del suyo.....

Guias (no dibujadas) ú otros medios, evitarían los golpes, prevendrían los retardos, y se opondrían á la tendencia ascensional, cuando la posicion de una pala fuese tal como la de la *f'''* en el último cuadrante. Válvulas de seguridad muy grandes, colocadas dentro de los estuches, garantizarían el buen funcionamiento de las palas. Imagínelas el lector, pues no están dibujadas. Estas válvulas se abrirían desde las superficies cilíndricas de los estuches hácia los ejes interiores.

La siguiente *figura* (537) representa una pala dentro de su estuche.

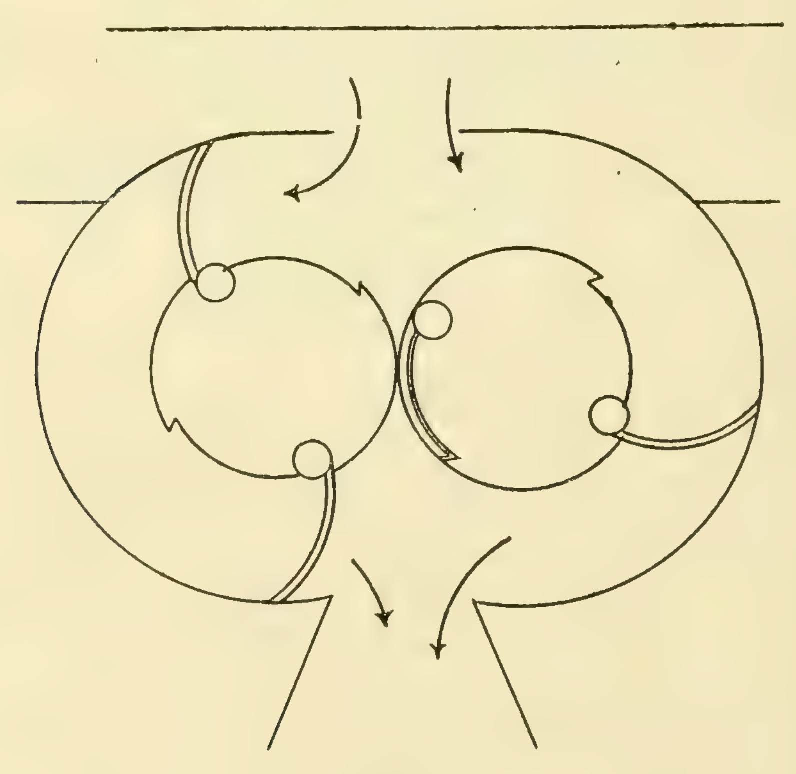


Fig. 537.

Esta última construccion de las palas curvas permitiria visitar los estuches, limpiarlos y repararlos, con más facilidad que los de ranuras; pero acaso la construccion presentaría más dificultades que la de las planas rectas.

Por otra parte, la guia y conduccion de las palas circulares para evitar los choques y los retardos fortuitos, parece que habia de ser mucho más sencilla que la guia y conduccion de las palas rectas.

Ligeros ensayos, preliminares y comparativos, manifestarían muy pronto de qué lado estaba la ventaja.

VIII.

Todo el mundo industrial conviene en las considerables ventajas que se obtendrían de buenas máquinas de rotacion, movidas por el vapor de agua.

En esto no hay discrepancia.

Pero tampoco la hay en que los ensayos verificados hasta el dia no han resuelto la cuestion económica, toda vez que las máquinas rotatorias consumen grandes cantidades de vapor, y por consiguiente de dinero. Los ajustes no son tan rigorosos como fuera de apetecer, por lo que el vapor no ejerce toda su presion teórica; y la expansion no se utiliza (como sucede hoy en las máquinas de aire comprimido); ó, si se utiliza alguna cosa, no es del modo más conveniente. Y ¡este es el gran mal!

Pero, tratándose del agua, que no se escapa en cantidades sensibles, aun con ajustes de mediano esmero, el uso de las máquinas rotatorias parece ser el más sencillo y racional, tanto más cuanto que, respecto de ella, no hay para qué pensar en la expansion.

Unicamente hay que llenar una condicion inexcusable.

IX.

Es preciso proscribir las grandes velocidades. (Se entiende en los aparatos de palas móviles y sus análogos.)

Esto es ineludible.

La lentitud en la marcha es la condicion *sine quà non.*

Si las palas de los aparatos que acabamos de indicar caminasen velozmente, ¿qué resistencias no encontrarían para entrar, en el espacio de brevísimos instantes, dentro de sus estuches respectivos?

¿Ni dónde hallar materiales que no se hiciesen trizas, si funcionaban siquiera con mediana celeridad?

Las moléculas del agua se apartan suavemente, cuando los movimientos que se verifican en su seno se efectúan muy despacio; y sus resistencias pasivas son casi nulas, cuando los móviles en ella inmergidos caminan con lentitud.

Y hé aquí por qué, supuesta la lentitud como condicion *sine quâ non*, el receptor rotatorio que propongo, satisface, en mi entender, á todas las exigencias del programa.

## X.

Por de pronto, y en primer lugar, observemos que estos aparatos rotatorios pueden funcionar con cuanta lentitud se quiera.

Supongamos (*figs.* 533 *á* 537):

1.° Que por el rectángulo *b b* entra $1^{m^3}$ de agua del mar cada segundo;

2.° Que cada cilindro gemelo tiene $2^m$ de radio;

3.° Que cada hemi-cilindro externo tiene $4^m$ de radio.

Y resultará que las 2 medias coronas intercilíndricas reunen una superficie igual á $37^{m^2},689$, puesto que, entre las dos, constituyen un ánulo circular completo:

$$\pi(4^2 - 2^2) = 37^{m^2},689.$$

Demos 1 metro de profundidad á esos espacios intercilíndricos, y su capacidad habrá de ser igual á $37^{m^3},689$.

Para que pasen, pues, por ese espacio $37^{m^3},689$, se necesitará igual suma de segundos. Pero como las palas de uno y otro cilindro se mueven simultáneamente y en sentido inverso, resulta que, cuando cada gemelo ha efectuado una revolucion completa de 360°, se ha llenado 2 veces de agua el espacio intercilíndrico de uno y otro lado. Por consecuencia, y recíprocamente, cuando este espacio no se ha llenado más que una sola vez, cada uno de los cilindros no ha podido girar más que 180°.

Así, pues, para que cada cilindro gire 360°, se necesita que pasen por el espacio intercilíndrico

$$2 \text{ veces } 37^{m^3},689 = 75^{m^3},378;$$

ó, lo que es lo mismo, que transcurran

$$75\tfrac{378}{1000} \text{ segundos de tiempo.}$$

Y, como está en nuestra mano el dar al rectángulo *b b* el abra que nos parezca conveniente, resulta que los cilindros gemelos, ó sea las palas, se moverán con toda la lentitud que se desee; y, por tanto, que el agua, sin remolinos ni convulsiones, obrará á la manera con que funciona en la prensa hidráulica:—por presion, y no por peso ni por choque.

## XI.

En segundo lugar, sea la que quiera la superficie del rectángulo de entrada *b b*, la potencia de las palas permanecerá siempre idéntica para una misma diferencia de altura entre los niveles del estanque alto y del bajo; solo variará la velocidad del movimiento.

Ejemplo. Si el abra es de $1^{m^2}$, y el peso del agua tiene $1^{m}$ de altura, la potencia será la misma que si el abra se reduce á ½ metro cuadrado, permaneciendo invariable la diferencia de niveles: las palas contendrán *n* veces al metro cuadrado en el primer caso, y 2 *n* veces al ½ metro en el segundo: los efectos serán iguales por el principio de igualdad de presion; pero, por un abra de ½ metro, pasará en una duracion dada, por ejemplo, un segundo, la mitad de agua que por otra de 1 metro cuadrado; y, por tanto, los espacios intercilíndricos echarán en llenarse doble tiempo.

Así, la potencia de los cilindros gemelos será en las mareas vivas, la misma que en las mareas muertas, porque estos aparatos funcionarán siempre bajo la constante presion de una altura predeterminada de agua marina; pero gastando abundantemente el líquido motor en las sizigias, y economizándolo en las cuadraturas.

Y hé aquí cómo, por otro medio distinto de el del cap. II, las incesantes y rebeldes variaciones entre las mareas vivas y las mareas muertas, se traducirán de nuevo en nuestros cilindros gemelos por variaciones de la velocidad, pero no de la potencia.

## XII.

Hay, en tercer lugar, que manifestar cuán constante es la accion de estos motores para una determinada altura del agua del mar.

Y hay que insistir sobre este punto, porque tan preciosa cualidad no existe en otros aparatos rotatorios.

Supongamos el siguiente (*fig.* 538).

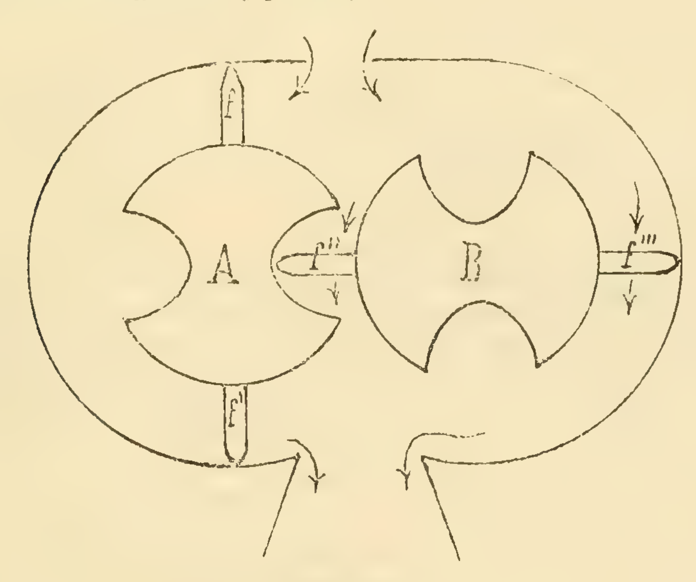



Fig. 538.

Imaginemos que 2 ruedas dentadas exteriores hacen mover con rotaciones inversas, y con igual velocidad angular, á los cilindros $A$, $B$.

Se supone, además, que las palas están FIJAS á los cilindros $A$ y $B$.

En estos cilindros existen las escotaduras epicicloidales que representa la *figura* 538, y tienen por objeto dejar pasar las palas $f$ y $f'$, $f''$ y $f'''$, respectivamente.

En la posicion de la *figura* 538 el cilindro $B$ aparece completamente anulado, por ser iguales y contrarias la presion y la succion ejercidas en las palas $f''$ y $f'''$. El aparato, sin embargo, gira, por efecto de la presion en $f$ y succion en $f'$, con potencia tal como 1.

Pero á los pocos instantes la potencia se dobla, porque llegan los cilindros á la posicion que sigue (*fig.* 539).

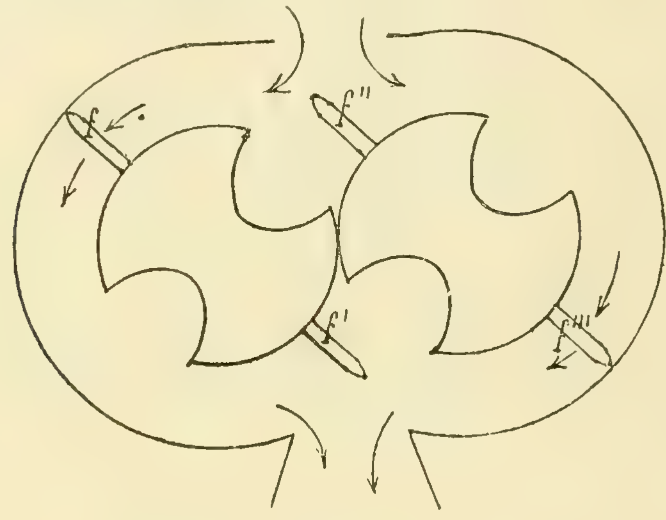



Fig. 539.

En $f$ y $f'''$ son iguales la presion y la succion: el aparato, pues, sigue girando, pero con Potencia doble, tal como $1 + 1$.

Despues toma el conjunto una posicion diametralmente opuesta á la de la *figura* 538, y en ella la fuerza vuelve á ser igual á 1, para en seguida doblar..... Y así sucesivamente.

Hay, pues, durante una rotacion completa de 300°, 4 períodos de fuerza tal como 1, y otros 4 períodos de fuerza tal como 2.

Este aparato, con un volante (ó mejor con dos), puede, en términos generales, ser un buen motor hidráulico rotatorio (1).

---

(1) Paréceme que con un volante sería tambien buen motor hidráulico la famosa bomba rotatoria de GREINDL.

Esta bomba, casi desconocida en España, es como indica la *figura* 540.

En la prolongacion del árbol inferior hay fuera de la bomba una rueda dentada, y otra en la prolongacion del árbol superior: la rueda de abajo tiene doble número de dientes que la de arriba. Ambas ruedas engranan.

Pero, á pesar de su sorprendente sencillez, no podria servir más que en un solo caso para poner en movimiento los foros celulares, por haberme yo impuesto la condicion de que las palas de los cilindros gemelos desarrollasen una potencia no variable, sino sensiblemente uniforme durante una revolucion completa de 360°, dada una altura, tambien constante, de agua marina motriz.

Sin embargo, existe ese caso, que hace entrar en las condiciones del programa de las pág. 705 y 706 á este motor de tanta sencillez.

Los 4 períodos de fuerza, como 1, son iguales entre sí, aunque en la gran mayoría de los casos, no tienen LA MISMA DURACION que cada uno de los 4 períodos, iguales tambien entre sí, de fuerza como 2.

Pero existe una longitud de pala, para la cual los 8 períodos de tiempo duran exactamente 45°, lo cual ocurre precisamente cuando la ranura de cada uno de los cilindros gemelos ocupa un arco de 45° (*fig*. 541). Entonces todos los 8 períodos son iguales entre sí.

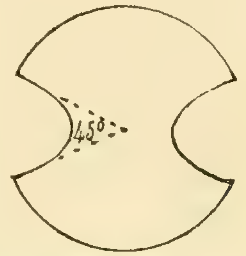


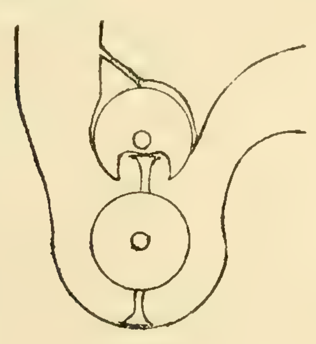
Fig. 541.

Ahora bien: construyamos con esa especial longitud de pala, 2 aparatos enteramente iguales. Un solo y mismo tabique comun, perpendicular á los ejes, puede separar ambos aparatos. Prolongados los 2 ejes del un aparato, servirán tambien al otro, y las proyecciones de las palas de cada aparato se cruzarán á 45°.

---

y por una vuelta del árbol inferior da dos vueltas el árbol superior.

En la posicion de la *figura* 540, el esfuerzo motor está anulado, por ser iguales y contrarias la presion y la succion en las paletas de la rueda inferior. Sería, pues, preciso un volante para sacar de esa posicion á esta rueda motora.


Fig. 540.

La bomba rotatoria del Baron GREINDL puede aspirar, como las mejores de piston, el agua al máximum de profundidad, y elevarla á mucha altura. Su elogio queda hecho al decir que no tiene válvulas: trabaja relativamente despacio, aunque admitiendo diferencias en la velocidad, y cualquier motor puede ponerla *directamente* en movimiento.

En 1875 fué probada experimentalmente esta bomba rotatoria, durante 4 semanas, en Dunkerque, por la marina francesa en concurso, y resultó que mientras la bomba centrífuga gastaba 40,60 francos por 24 horas, la GREINDL gastó 28,90.

Recientes experiencias hechas en Brest por los ingenieros de la marina francesa, han evidenciado que las bombas rotatorias GREINDL utilizan el 85 por 100, mientras que las mejores de piston no llegan á ese tanto por 100, y de las centrífugas solo hay que esperar del 50 al 60 por 100. Una GREINDL ha elevado agua á más de 105 metros; las centrífugas solo pueden levantarla á 20, y todo lo más á 25.

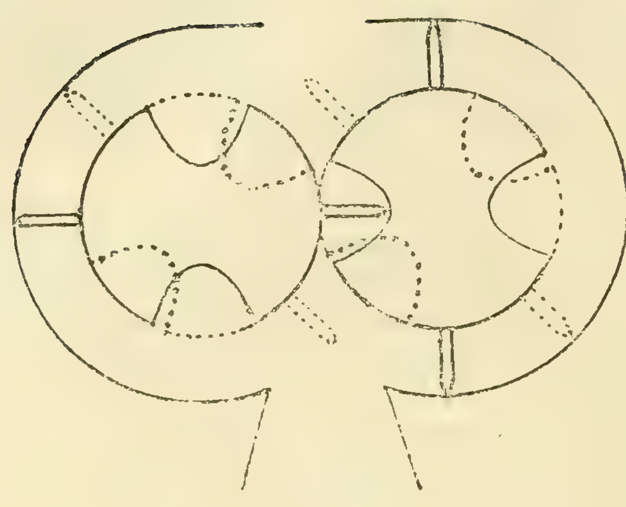


Fig. 542.

Considero precioso este aparato de fuerza constante y palas fijas: no puede darse sencillez mayor; su fortaleza no reconoce límites; y, aunque hay que sujetar la anchura de las palas á la condicion del ángulo de 45°, el aparato puede ser de la potencia que se quiera, puesto que no hay límite respecto á su profundidad. Le veo, sin embargo, un ligero inconveniente, aunque camine despacio: el de mover masas de agua en pura pérdida con las palas cuando huelgan; pero no puede tacharse de grave esta desventaja, siempre que el aparato funcione con lentitud. Entonces casi desaparece. Dada, pues, esta condicion *sine quâ non*, me parece este doble receptor un excelente aparato hidráulico, inapreciable por su doble cualidad de poseer directamente el movimiento circular contínuo, y ejercer siempre la misma potencia para igual carga de agua (1).

Cruzándose las palas á 45° en su proyeccion vertical, entonces, los dos aparatos desarrollarán una potencia constante, igual á 3; porque siempre cuando el uno desarrolle fuerza como 1, la desarrollará el otro como 2.....

En la *figura* 542, el aparato de líneas plenas tiene potencia como 1, y el de las líneas de puntos como 2.

Es de observar que, mientras uno de los gemelos se anula, no consume agua motriz. Es verdad que baja una pala, haciendo sitio al líquido que contra

(1) Este aparato, tan adecuado, á mi entender, como receptor hidráulico, puede servir como compresor y tambien como aero-motor (véase más adelante).

Pero sus ventajas ya no son tantas con los gases; porque la potencia como aero-motor, y la resistencia como compresor de gases, están variando sin cesar dentro de límites no insignificantes en cada revolucion. Fácil es hacer el estudio, considerando como unidad de volúmen el de cada cuarto de foro. Además, los espacios perjudiciales son aquí de grandísima importancia.

ella efectúa su presion, pero la pala diametral sube, devolviendo la misma cantidad. Y es más; esta segunda pala hace al subir una aspiracion, equivalente en líquido al que la primera comprime al descender.

Sin embargo, en los aparatos de palas móviles, apenas existe limitacion respecto del ancho de las palas, ni el inconveniente de ponerse en movimiento inútilmente masas líquidas, así las palas sean curvas, como rectas. La potencia en ellos podrá siempre ser mayor á igualdad de profundidad, y siempre resulta constante, por existir siempre 2 palas, una en cada gemelo, solicitadas por la misma presion é idéntica succion. Las demás presiones ó succiones que el líquido pueda ejercer, se encuentran por completo y en todo instante equilibradas y destruidas, sin casi movimientos parásitos del líquido motor.

Por manera que nuestros cilindros gemelos de palas móviles (1) son, en todo caso, y sumergidos, un sencillo receptor doblemente rotatorio de potencia constante y uniforme;—que era precisamente la cualidad indispensable para mover la resistencia de los foros celulares, constante tambien si se hace abstraccion de las palpitaciones.

Vese, pues, de nuevo justificada la antelacion dada en esta obra á los compresores, porque á sus cualidades habia de ajustarse la de los aparatos marinos que los moviesen:

A compresor de resistencia creciente, motor de fuerza adecuada;

A compresor de resistencia invariable, motor de potencia constante.

## XIII.

Por último, la potencia de estos receptores sería suficiente y adecuada para el buen funcionamiento de los foros celulares.

Sea, pues, como antes, de $2^m$ el radio de los cilindros gemelos;

De $4^m$ el radio de los hemi-cilindros exteriores;

De $1^m$ la profundidad;

Y resultará que la pala tendrá de superficie

$$1^m \times 2^m = 20000^{c^2};$$

---

(1) Quiero observar de paso, y entre paréntesis, que estos cilindros gemelos, doblemente rotatorios, pueden convertirse en bombas aspirantes é impelentes:

1.° Aspirando el líquido por abajo, y expulsándolo por arriba; esto es, admitiéndolo por el abra rectangular inferior, y haciéndole salir por el abra rectangular superior;

2.° (Que solo se refiere á los cilindros gemelos de palas móviles):

Haciendo que las palas sean más pesadas que el líquido; porque si, abandonadas á sí mismas, se fueran al fondo, la gravedad las colocaria oportunamente en disposicion de funcionar. Poniendo en las anteriores *figuras* (533 *y* 536) lo de arriba abajo, se hace evidente lo que acabo de exponer.

Por supuesto: 1.° ruedas externas dentadas pondrian en rotacion inversa cada uno de los cilindros gemelos; 2.° una fuerza externa, aplicada á una de ellas (ó á las dos), habria de transmitir el movimiento á los cilindros gemelos.

Suponiendo, pues, que las palas se muevan bajo la presion y succion de $1^{m}$ de agua marina, el efecto sobre cada una de las palas, por metro de profundidad, habrá de ser

$$20000^{c2} \times 103^{gr},3 = 2066^{k},$$

toda vez que el peso de $10^{m}$ de agua del mar sea, sobre el centímetro cuadrado,

$$= 1^{k},033.$$

Por consiguiente, el total de la presion y succion en las 2 palas (una en cada espacio hemi-cilíndrico) resultará igual á

$$4^{ton},132;$$

Y, si el receptor doblemente rotatorio tuviese $10^{m}$ de profundidad podria desarrollar una potencia de casi 41¼ toneladas.

Ahora bien: en la pág. 593 propuse, como ejemplo de buenos foros cuyo líquido compresor fuese la solucion de cloruro de zinc, dos grandes compresores: uno de 375 metros cúbicos de capacidad, que en cada rotacion foral habia de condensar el aire á $2^{atm}$, y otro de $327^{m3}$, que habia de comprimirlo á $3^{atm}$.

¿Podrian las palas de nuestros cilindros gemelos hacer funcionar estos Leviatanes de la compresion?

Antes de seguir adelante, representémonos (*fig*. 543):

1.° Que está sumergido el aparato doblemente rotatorio;

Y 2.° Que por medio de una polea de 1 metro de radio, y el correspondiente cable teledinámico, mueve á un foro celular, situado á gran distancia (1).

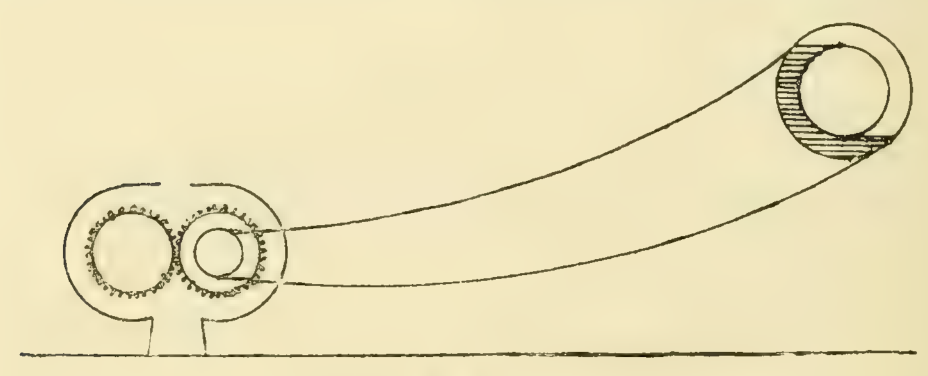


Fig. 543.

(1) Dada la pequeña velocidad circunferencial de los foros, no veo inconveniente en que la transmision se verificara por medio de cadenas. Sin embargo, éstas van abandonándose.

Las transmisiones por medio de cables

Y tendremos para el 1.$^{er}$ foro de la pág. 593:

| | |
|---|---|
| $r$ .......................... | $= 2^m,5$; |
| $R$.......................... | $= 5^m,5$; |
| Profundidad.................. | $= 5^m$; |
| Volúmen total................ | $= 374^{m^3},69$; |
| Volúmen del semi-anillo compresor | $= 187\ \ ,35$; |
| Densidad de la solucion de $ZnCl$ | $= \ \ 2\ \ ,066$; |

Peso del semi-anillo líquido compresor, $187,35 \times 2,066 = 387,055^k$.

Colgado este peso á los $\frac{32}{100}$ de la diferencia de niveles, quedará el foro en equilibrio, segun lo demostrado págs. 487 y 517;

Dif.$^a$ de niveles $= 5^m$;
0,32 de $5^m$ $= 1^m,60$.

Supongamos que la enorme masa del auxilio quede en estos foros gigantescos EXCLUSIVAMENTE destinada á vencer las resistencias pasivas (que no es poco conceder, sino mucho, especialmente tratándose del segundo de los foros

---

teledinámicos son muy usadas en la actualidad, y van reemplazando á las de cadenas y correas, así como éstas tienden á reemplazar á las de engranajes. Se hacen regularmente por medio de cuerdas de hierro ó de acero. Tienen ventajas sobre las transmisiones por cuerdas de cáñamo,

1 cable de cáñamo, de 9 pulgadas = 1 cable de alambre de hierro, de $3\frac{3}{4}$ = 1 cable de alambre de acero, de 3.

| | |
|---|---|
| Peso del 1.º ........................ | 20 |
| del 2.º ........................ | 12 |
| del 3.º ........................ | 7 |
| Peso de una cadena de igual fuerza. | 40 |

Los cables de cuerda de acero están ménos sujetos al moho que los de alambre de hierro. En las minas de Westphalia los engrasan una vez por semana, y los dan de baja en cuanto empiezan á manifestar rozaduras. Son notables los cables de 300 y más hilos de acero, que fabrica la compañía HAZARD DE WILKESSARRE en Pensilvania.

Para evitar los efectos de la oxidacion, se han empezado á adoptar últimamente cables de alambre de bronce fosforado. Estos no se enmohecen: han cumplido bien en varias minas, en competencia con otros. Los cables de hilo de bronce fosforado se alargan, antes de romperse, 50 por 100 más que los de alambre de hierro, y tienen 42 por 100 más de resistencia contra los efectos de torsion; pesan de $\frac{1}{5}$ á $\frac{1}{6}$ ménos que las cadenas de igual poder; y aunque tienen ménos potencia tensil que los cables de acero, y cuestan más caros, en cambio son de más fácil manejo, y reembolsan los $\frac{3}{4}$ de su valor cuando son viejos. (Véanse las tablas de TRAUTWINE.)

Las transmisiones por cuerdas de acero duran mucho. Ejemplos hay de duraciones de 10 años.

Además, una cuerda metálica en movimiento almacena energía como si fuera un volante.

Estas transmisiones no están muy estudiadas todavía. Solo empíricamente se dan reglas acerca de los diámetros de los cables, de las poleas motoras, de su velocidad, etc. Se cree que el coeficiente de rozamiento es el 60 por 100 del de una correa equivalente. En Cataluña se usan notables transmisiones con cuerdas de cáñamo. En América prefieren, aunque más caras, las transmisiones por correas, que se fabrican allí hasta de $1^m$, y aun de metro y medio de ancho.

mencionados), y podremos entonces calcular las resistencias teóricas por las fórmulas correspondientes á los foros simples.

Colgadas, pues, $387^{ton},055$ de una polea que tuviese de radio $1^m,60$, quedaria en equilibrio el foro que estamos examinando.

Ahora bien: el cable no actúa sobre una polea de ese radio, sino sobre la superficie cilíndrica exterior del foro, la cual dista del centro $5^m,5$.

Luego, puesto que es mayor el brazo de palanca, solo necesitaremos en el cable una potencia igual á

$$387^{ton},055 \times \frac{1,6}{5,5} = 112^{ton},598.$$

Ahora bien: en los cilindros gemelos de palas móviles, la fuerza del agua marina puede considerarse como acumulada sobre el centro de las palas, es decir, á $3^m$ del centro del aparato; y, como esta fuerza actúa sobre la polea motriz del cable, la cual solo tiene $1^m$ de radio, resulta que la potencia no necesitará más que un esfuerzo de

$$112^{ton},598 \times \frac{1}{3} = 37^{ton},532;$$

esto es, 38 toneladas escasas.

Es así que el aparato doblemente rotatorio puede desarrollar más de 41 toneladas, y que no debemos pensar en resistencias pasivas, porque para eso hemos hecho caso omiso del auxilio;

Luego, etc.

Para el 2.° foro de la pág. 593, los datos serían:

$r$............................ $= 5^m$;
$R$............................ $= 6^m$;
Profundidad.................... $= 10^m$;
Volúmen total.................. $= 327^{m^3},100$;
Volúmen del semi-anillo compresor $= 163\ \ ,550$;
Densidad de la solucion de $Zn\ Cl$.. $=$ 2,066;
Peso del semi-anillo de líquido compresor, $163,550 \times 2,066 = 337^{ton},894$.

Y suponiendo que la polea motriz del cable, en vez de $1^m$ de radio, como antes, tenga ahora $\frac{2}{3}$, los cálculos serán:

1.° 0,32 de la diferencia de niveles, $3^m,20$;

2.° Potencia necesaria en la circunferencia del foro

$$337^{ton},894 \times \frac{3,2}{6} = 180^{ton},210;$$

3.° Potencia necesaria en la polea del cable,

$$180^{ton},210 \times \frac{0,6667}{3} = 40^{ton}.$$

Es así que los cilindros gemelos, sin contar con el AUXILIO (ahora muy considerable) desarrollan una potencia de $41^{ton}$;

Luego, etc.

## XIV.

Séanme lícitas algunas muy ligeras explanaciones más.

1.° Las cantidades de agua que pasen por estos inmensos receptores rotatorios pueden variar entre muy extensos límites, siendo siempre colosales, y siempre lenta relativamente la marcha del receptor.

Ya hemos visto (pág. 712) que, si el aparato consume $1^{m^3}$ de agua (por segundo de tiempo), invertirá cada cilindro gemelo $75\frac{1}{3}$ segundos en una vuelta completa de 360°.

Suponiendo ahora que el consumo de agua se doblase, y hasta se triplicase, entonces serían los tiempos respectivamente $37\frac{1}{2}$ y $25^s$. (La velocidad en el foro celular sería naturalmente bastante menor.) Pues aun triplicado el consumo de agua motriz, el receptor rotatorio de $10^m$ de profundidad gastaría $30^{m^3}$ por segundo, con una velocidad en la circunferencia externa de la pala que no pasaría de 100 centímetros:

$$\frac{2\pi \times 400^c}{25^s} = 1^m,0048.$$

2.° La fuerza ascensional de las palas debe reducirse á un mínimum. Ha de ser la suficiente para que funcionen sin entorpecimientos; pero eso y nada más; porque, desde que inician su descenso, hasta que llegan á la horizontal, y despues, simétricamente, hasta que inician la subida, estan constantemente resistiendo la presion y succion del líquido motor.

Verdad es que esta tendencia se halla hasta cierto punto contrarestada por la pala diametralmente opuesta; pero siempre resulta un exceso de resistencia pasiva con que es preciso contar (*fig.* 544).

En efecto: las palas $f'$ y $f''$ tienden á subir; y, si solo atendiéramos á los esfuerzos contra los ejes, el sistema resultaría en equilibrio; pero el centro de

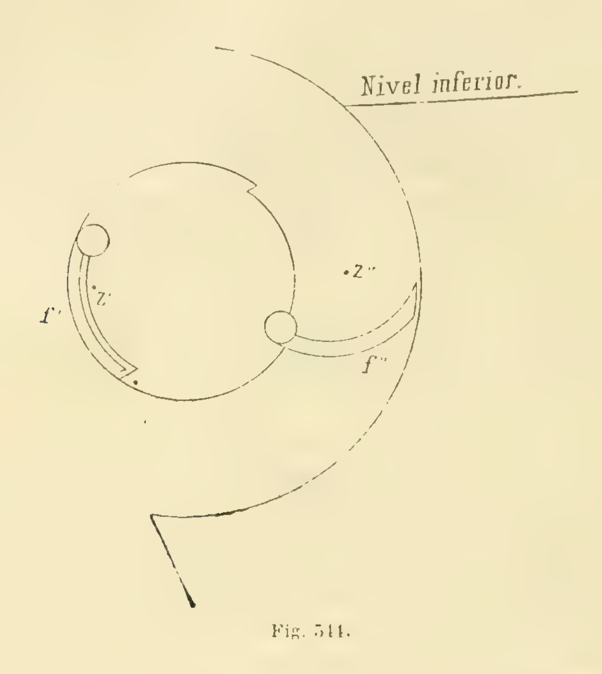



Fig. 514.

gravedad de $f'$ se proyecta en $z'$, y el de $f''$ en $z''$. Los brazos de palanca no son aquí iguales; luego no hay compensacion más que parcial.

3.° Sumergidos estos aparatos doblemente rotatorios, las presiones internas y externas son casi iguales; por manera que no se necesita de exagerados espesores en las planchas....., cualidad muy apreciable.

Pero ¿voy á entrar en pormenores sobre el modo de construccion del aparato rotatorio? ¿Sobre los medios de reducir á un mínimum los espacios perjudiciales? ¿Sobre los recursos á que habia de apelarse para que la rigidez de las piezas resultase como absoluta? ¿Para evitar los inconvenientes que pudieran originar las arenas, los fangos, las maderas, las plantas, y los cuerpos de toda clase arrastrados por el agua?.....

Todo esto es de carácter puramente técnico, y la ciencia de los ingenieros tiene recursos de sobra para ocurrir á estas dificultades, y dar á los receptores la mayor profundidad, que pueda fácilmente construirse, por ser así menores las pérdidas laterales á igualdad de circunstancias, etc.

## XV.

Estoy por los aparatos grandes. Ahorran mano de obra, gasto inicial de construccion, capital de instalacion, etc. Y no hay inconveniente en que los receptores rotatorios tengan la mayor potencia posible; porque, con suma sencillez, puede emplearse cada uno en mover más de un foro compresor, si estos son pequeños y aquella considerable.

Hé aquí algunas combinaciones (*fig.* 545 *á* 547).

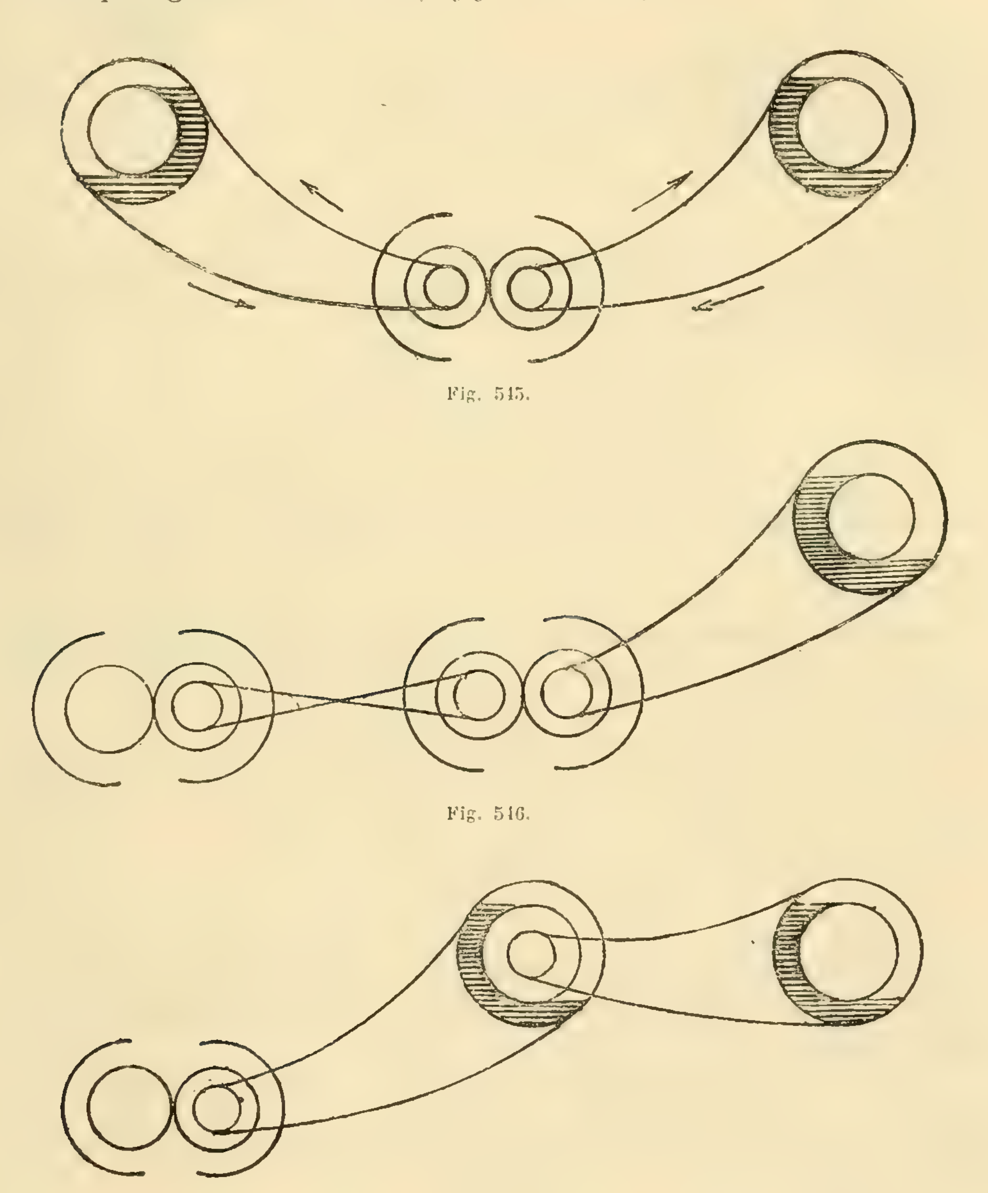


Fig. 545.

Fig. 546.

Fig. 547.

Los foros pueden estar sumergidos, á fin de facilitar el enfriamiento. En último resultado, para obtener cantidades iguales de trabajo en aire comprimido, no es necesario que los foros tengan tanta profundidad, si ésta disminuye en la misma razon en que aumente la velocidad de rotacion.

En el ejemplo siguiente, por cada vuelta de la polea motora dará otra un foro no profundo.

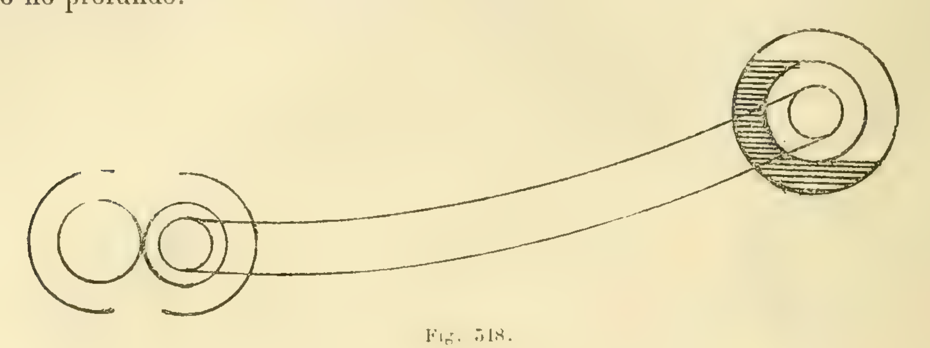


Fig. 518.

El desarrollo de calor será, sin embargo, mayor en este aparato, que en el foro prolongado productor de igual cantidad de aire comprimido, á determinada tension, en el mismo tiempo.

## XVI.

Desligado ya de estos pormenores, voy á entrar en una cuestion que está íntimamente relacionada con el consumo de agua motriz de estos receptores rotatorios.

Qué conviene más, ¿trabajar con el mayor peso posible de agua, ó bien con poca altura? Por ejemplo: qué vale más, ¿trabajar con el peso de 1$^{m}$, ó con el peso de $\frac{1}{2}$?

Hay que distinguir:

Dando á las palas doble superficie en un primer aparato rotatorio que en otro segundo, evidentemente el efecto será el mismo si el primer aparato trabaja con la mitad de altura que el segundo.

Aparte del mayor volúmen de los aparatos (y mayor coste por consiguiente), el efecto mecánico no diferiría.

No así el consumo de agua motriz, lo que parece paradójico. El aparato de pala doble (en superficie) gastaría doble cantidad de agua, á igualdad de tiempos de trabajo.

Pero, como este agua motriz procede de las mareas, es preciso tener en cuenta un elemento que complica la cuestion: el tiempo de huelga que es necesario aguardar para que se establezca el conveniente desnivel entre el estanque alto y el bajo.

En el momento de la pleamar están llenos los 2 estanques, y á un mismo nivel. En una marea de $3^m$ baja el agua ½ metro por hora (supongamos perfecta la regularidad); de manera que el receptor de doble pala solo deberá aguardar 1 hora para poder trabajar con el peso de ½ metro que, respecto del nivel del estanque alto, ha establecido en esa hora la menguante. Por otra parte, el receptor de pala = 1, no podrá empezar á trabajar hasta que haya finalizado la segunda hora de la menguante.....

Así, pues, el problema estriba en la combinacion de estas dos propiedades:

El aparato de pala menor trabaja ménos tiempo y gasta ménos agua: ¿es esto una ventaja, ó es un inconveniente?

La ensenada que haga de estanque alto, es siempre de una superficie invariable, determinada por las condiciones naturales ó geológicas de las playas y las costas; y, por mucho que influyan las obras de arte, no es posible ensanchar ni disminuir la capacidad de la ensenada ó gigantesca anfractuosidad, donde estemos recogiendo la fuerza del mar. Esa capacidad es lo que es, y nada más.

De aquí el que, para contestar á la pregunta, debamos apartar nuestros ojos de las dimensiones de los aparatos rotatorios, para fijarla por ahora en las dimensiones del estanque, que la naturaleza (y las obras de arte en caso necesario) hubiere puesto á nuestra disposicion.

Supongamos nuestro estanque-módulo de $7200^{m^2}$ de extension, segun hemos convenido en la pág. 126;

Supongamos igualmente de $3^m$ la marea, y comparemos 2 receptores rotatorios, uno de doble pala que otro.

Para que ambos consuman por hora la misma cantidad de agua motriz, es requisito indispensable que la pala mayor (doble por hipótesis) ande con la mitad de velocidad que la menor.

Llamemos $T$ al trabajo; y, en el caso actual, como el aparato menor funciona 4 horas, hará un total trabajo = 4 $T$, al paso que el aparato mayor, que funciona 5 horas, hará un total trabajo, igual á

$$5^h \times \tfrac{1}{2} \text{ velocidad} \times T = \frac{5}{2}\, T; < 4\, T.$$

Así, pues, en el aprovechamiento de un estanque dado, conviene trabajar con el peso de 1 metro mucho más que con el de ½ (y esto independientemente del mayor costo de los aparatos cuando son más grandes, de su mayor *emplacement*, y demás desventajas consiguientes).

*Comparacion de 2 receptores rotatorios, uno de pala doble que otro.*

Sea $P$ el esfuerzo sobre la pala = 1, producida por una columna de $1^m$ (1);
Sea = 1 la velocidad de esta pala;
Y tendremos:

| Altura de la marea para ambos receptores en centím. | Tiempo útil de trabajo. — *Horas.* | Trabajo de la pala = 1, bajo la presion = $1^m$. | Altura de la marea para ambos receptores en centím. | Tiempo útil de trabajo. — *Horas.* | Trabajo de la pala = 2, bajo la presion = $\frac{1}{2}$. |
|---|---|---|---|---|---|
| 150 | 2 | $2^h \times 1 \times P = 2\,P$ | 150 | 4 | $4^h \times 0{,}5 \times P = 2\,P$ |
| 200 | 3 | $3^h \times 1 \times P = 3\,P$ | 200 | 4,50 | $4^h{,}5 \times 0{,}5 \times P = 2{,}25\,P$ |
| 250 | 3,66 | $3^h{,}6 \times 1 \times P = 3{,}6\,P$ | 250 | 4,80 | $4^h{,}8 \times 0{,}5 \times P = 2{,}4\,P$ |
| 300 | 4 | $4^h \times 1 \times P = 4\,P$ | 300 | 5 | $5^h \times 0{,}5 \times P = 2{,}5\,P$ |
| 350 | 4,34 | $4^h{,}33 \times 1 \times P = 4{,}33\,P$ | 350 | 5,15 | $5^h{,}15 \times 0{,}5 \times P = 2{,}57\,P$ |
| 400 | 4.50 | $4^h.5 \times 1 \times P = 4{,}5\,P$ | 400 | 5,25 | $5^h{,}25 \times 0{,}5 \times P = 2{,}62\,P$ |
| | 21,50 | *Término medio.* = $\frac{21{,}4}{6}$ | | 28,70 | *Término medio.* = $\frac{13{,}4}{6}$ |
| El total trabajo oscila entre 2 y 4,5. | | | El total trabajo oscila entre 2 y 2,62. | | |

La pala doble trabaja algunas horas más; pero la ventaja en tiempo no compensa, ni con mucho, la desventaja en presion. Con $1^m$ la presion es doble que con $\frac{1}{2}$; pero el número de horas que se ganan con la altura de $\frac{1}{2}$, no es, ni con mucho, el doble de las en que se trabaja con $1^m$.

(1) El esfuerzo sobre la pala 2 será tambien $P$. En efecto:

$$2 \times \tfrac{1}{2} = 1.$$

# APÉNDICES AL LIBRO II.



## I.

Siempre tengo en la imaginacion la rueda SAGEBIEN, ya coronada con los laureles del triunfo.

Pero, como para utilizar la fuerza motriz de la marea no es posible usarla sin especial disposicion, no me parece muy difícil emplearla como sigue.

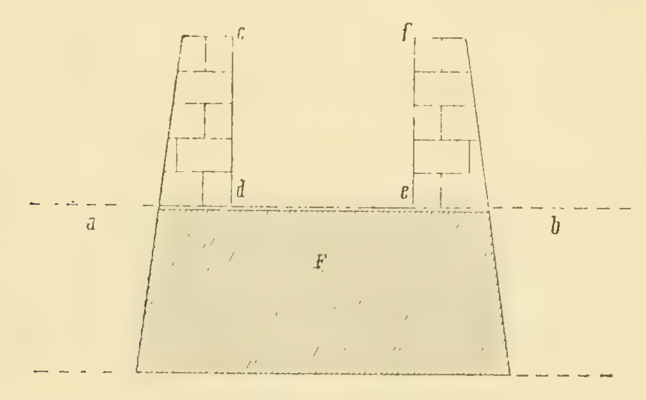



Fig. 549

Representémonos (*fig.* 549) un canal formado por un suelo horizontal *dc*, y por dos paredes verticales y paralelas *cd* y *fe*, cuya distancia sea igual á la anchura de la rueda SAGEBIEN (ó, lo que es lo mismo, al largo de cada una de sus palas *renversées*). La línea *adeb* se halla al nivel de la máxima bajamar del año.

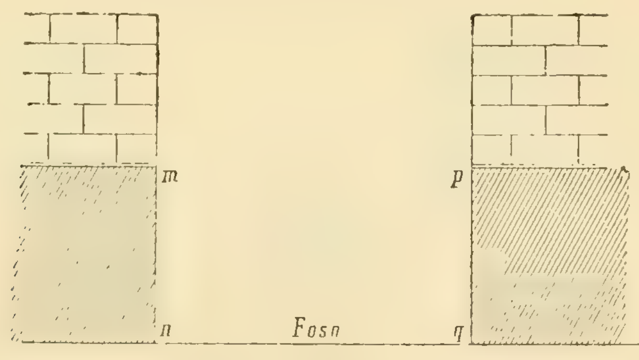



Fig. 550.

Imaginemos ahora hecha, perpendicularmente á la direccion del canal, una cortadura vertical *mnqp* (*fig.* 550) capaz de constituir un foso varios metros más profundo que la línea de la máxima bajamar.

Este foso, extendiéndose á mayor distan-

cia que la anchura del canal tanto á un lado como á otro, constituirá una dársena.

Una balsa (*fig.* 551), ó un poderoso flotador capaz de sostener una SAGEBIEN en movimiento bajo una predeterminada carga de agua marina, podrá subir y bajar con la marea, perfectamente ajustada por delante y por detrás á las paredes verticales $mn$ y $pq$ de la zanja ó cortadura del canal. Guias laterales impedirán que la balsa se deslice á la derecha ó á la izquierda del canal.

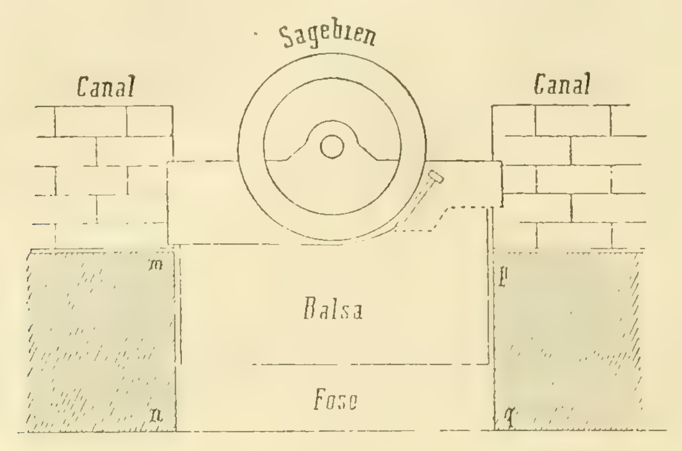



Fig. 551.

Siendo planas las caras de la balsa, y esmerados los ajustes con las paredes verticales de la cortadura $mn$ y $pq$, solo se escapará por entre ellos un mínimo del agua motriz.

La dársena estará siempre en comunicacion con el estanque bajo, mediante conductos especiales (no dibujados en las figuras que siguen, por fáciles de imaginar).

De este modo, el gran desagüe del canal no podrá verificarse sino moviendo la SAGEBIEN, cuando la carga hidráulica sea la suficiente para vencer la resistencia de los foros (que, como sabemos, es una cantidad constante).

En la menguante, á medida que baje el nivel alto, bajará la balsa, y así permanecerá siempre de igual altura la columna hidráulica motriz. Lo contrario pasará en la creciente; de tal modo tambien que la carga de agua será siempre la predeterminada.

Tanto en la creciente como en la menguante, el trayecto del agua marina motriz será tal, que la fuerza actúe sobre un mismo costado de la SAGEBIEN.

La circulacion (en su conjunto para la creciente y la menguante) recordará la forma de un 8, segun evidencian las *figs.* 552 *y* 553.

**Marea creciente.**

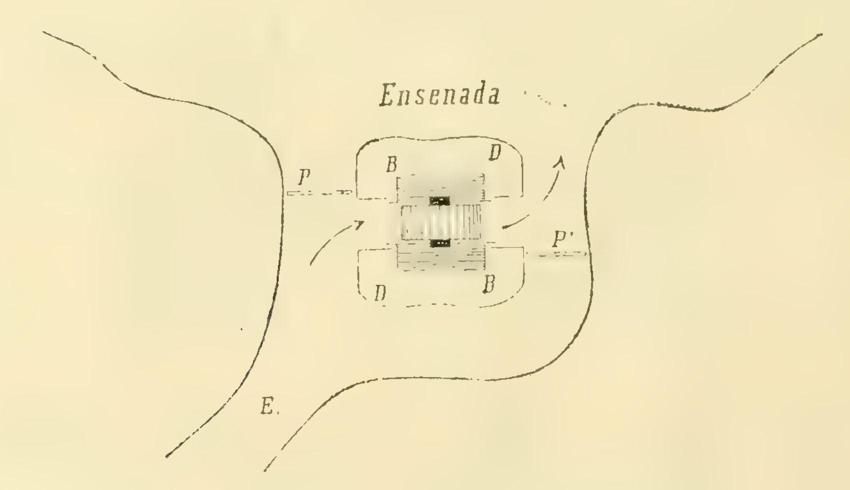



Fig. 552.

La parte superior indica el principio de la ensenada (*fig*. 552).

*D D* la dársena;

*B B* la balsa que sostiene una Sagebien, en cuyo interior se supone un doble foro dodecagonal;

*E* entrada de la marea;

*P* y *P'* compuertas cerradas.

El agua motriz entra por *E* desde el Océano, pasa por la Sagebien, y se aloja en la ensenada.

La parte superior indica, como antes, el principio de la ensenada (*fig*. 553).

**Marea menguante.**

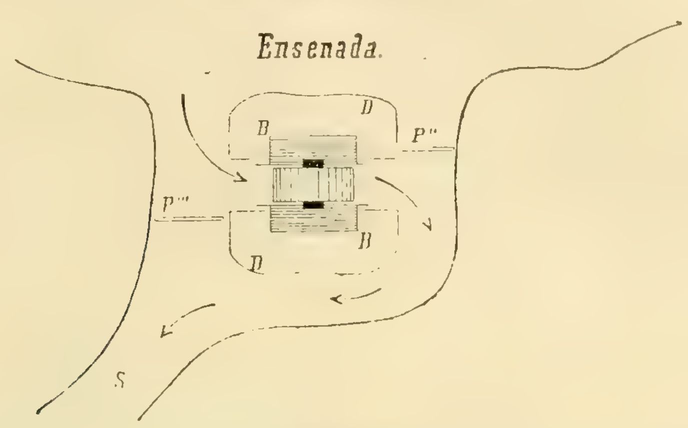



Fig. 553.

*D D* la dársena

*B B* la balsa;

*P''* y *P'''* compuertas cerradas;

*S* salida al Océano (pasando por la Sagebien) del agua existente en la ensenada.

La circulacion, como se ve, es tal que, en su conjunto, recuerda la forma de un 8.

Sea la que fuere la altura de la balsa, el aire comprimido pasará al almacen por tubos articulados *a*, *a'*, *a''* (*fig*. 554).

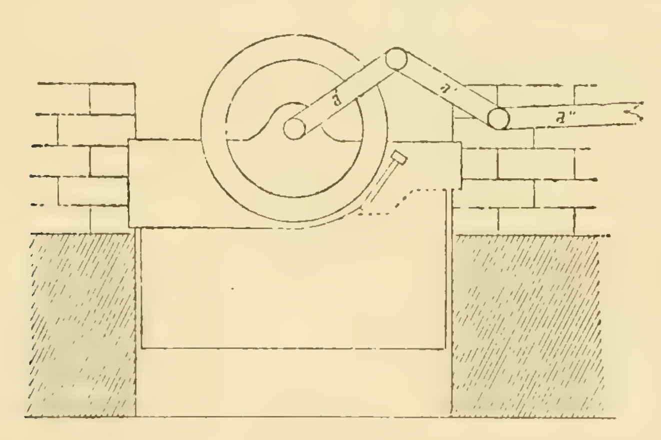



Fig. 554.

## II.

Ferdinand Tommasi ha propuesto la utilizacion de la marea por medio de un ingenioso mecanismo de compresion de aire á la creciente y de succion á la menguante.

El mérito de esta idea es incuestionable.

Pero paréceme que solo podrá tener aplicacion en los países donde las mareas sean de amplitud muy grande.

Para dar una idea de la solidez de los principios en que se funda el procedimiento, traduzco, casi, lo que sigue del interesante opúsculo titulado LE FLUX-MOTEUR (*chez* LACROIX, París).

Dice así:

«Mientras que gran número de mecánicos han pretendido en todas épocas dar solucion al soñado problema del movimiento contínuo, nadie, que yo sepa, ha pensado todavía en sacar partido de un verdadero movimiento perpétuo, que existe, si no en el sentido que en mecánica se da á la frase, al ménos en la mayor parte de las ventajas que su utilizacion presentaría para el comercio y la industria: me refiero AL FLUJO Y REFLUJO DEL MAR.

Y sin embargo, cuando se medita sobre esa inagotable masa de agua, de la que cada metro cúbico pesa próximamente 1028 kilógramos, y que se eleva dos veces al dia á una altura que puede llegar á 15 y 20 metros en algunos países, para volver á bajar á las 6 horas á su primitivo nivel, debe uno quedarse forzosamente sorprendido, al considerar la enorme potencia de esta masa líquida, ascendente y descendente.

De ahí ha nacido mi idea de explotar esta fuerza motriz, desdeñada hasta el presente; y sobre el principio «del peso representado por la masa de agua elevada por el flujo,» está fundada mi invencion del FLUJO-MOTOR.

Si mediante un tubo *DD*, colocado hori-

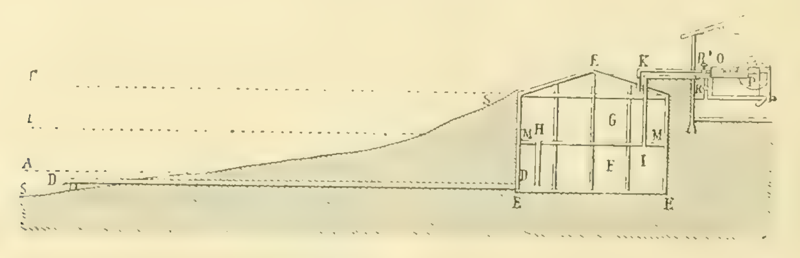



Fig. 555.

zontalmente y por debajo del nivel medio de las mareas bajas en las sizigias, se ponen en comunicacion las aguas del mar con un recipiente *F*, departamento inferior de una enorme campana de madera *EEE*, cuya base inferior esté al mismo nivel que dicho tubo, y la parte superior á una altura correspondiente al punto que sirve de base á la «mitad *AB* de altura» de la marea (*fig*. 555), es claro que en este departamento habrá siempre agua; cuyo nivel, elevándose con el del mar, se encontraría á la altura de la parte superior *MM* del departamento si, cuando el mar llega á la mitad de la creciente, se diera libre salida al aire aprisionado en *F*. Pero si, por el contrario, se cierra este recipiente *F* por la llave *R*, es óbvio que el aire allí contenido impedirá al agua que vaya entrando por *D* en el fondo, elevar libremente su nivel, experimentando así el aire una compresion tanto más fuerte cuanto más elevado sea el nivel del mar. De aquí resulta que, si ponemos entonces en comunicacion, mediante un tubo *I* y la llave *R*, la parte superior de este recipiente con el tubo de admision de una máquina semejante á las de vapor, el piston de este aparato será empujado con una fuerza proporcional á su base y á la tension del aire comprimido en el departamento *F*, tension que será naturalmente proporcional á la elevacion del agua del mar sobre el nivel dentro de *F*. Ahora, si determinamos las dimensiones de la base de este piston, de manera que estén en relacion exacta con la cantidad de trabajo que se quiera obtener, y con la tension que el aire del recipiente haya adquirido mediante la presion del agua cuando el mar haya alcanzado una determinada altura en su movimiento ascensional, sucederá necesariamente que, á partir de este momento, y hasta el fin del flujo, el piston *O*, antes citado, marchará siempre con la misma fuerza, puesto que, á medida que el agua, en el recipiente, eleva su nivel, el nivel del mar se eleva tambien, continuando siempre siendo igual la diferencia entre los dos niveles del Océano y del interior en *F*; por lo cual permanece idéntica la presion; y, por consiguiente, la potencia que de ella resulte deberá ser siempre constante.

Además, si mientras se efectúa este tra-

bajo de compresion del aire en el departamento inferior *F* y su utilizacion en la máquina *O*, dejamos entrar libremente por *H* el agua del mar en otro departamento *G*, superpuesto al primero, cuyo fondo *M M* sea la misma cubierta de *F*, y cuyo techo se halle á la altura *C S*, que alcanza el mar en las mareas medias de las sizigias; á cuyo efecto dejaremos salir á la atmósfera el aire de *G*; si, además, una vez lleno este recipiente, cerramos la llave que, dando libre salida al aire, permitia al agua del mar penetrar en él, resultará que el mar, en la menguante, dejará este recipiente lleno de agua; y cuando el nivel oceánico haya descendido lo suficiente para que tenga, respecto de su nivel «máximo,» la misma diferencia de carga hidráulica que tenia antes, respecto de su nivel «mínimo,» el peso representado por el agua suspendida, en este recipiente, debe ser igual al peso representado por el agua del mar, cuando éste, al subir, habia llegado al punto predeterminado para carga hidráulica motriz.

Poniendo ahora en comunicacion, mediante otro tubo *K'* y llave *R'* (*fig.* 555), la parte superior de este departamento con el tubo de descarga de la máquina motora, debe suceder que el aire exterior, al penetrar en *O* por el tubo de admision, con el cual se le hace ahora comunicar exclusivamente, empujará el piston con una fuerza proporcional á las dimensiones de su base y á la rarefaccion del aire producida del otro lado del piston por el peso del agua contenida en dicho recipiente, la cual, al tratar naturalmente de bajar, verifica una poderosa succion. Ahora, siendo igual este peso al que ha servido para comprimir el aire en el otro departamento, la presion del aire exterior debe tambien ser igual á la producida por *F*.

De aquí resultará en consecuencia que, á partir de este momento, y hasta el fin del reflujo, el piston *O* marchará siempre con potencia constante, puesto que, á medida que baja el nivel del agua contenida en el departamento *G*, baja tambien el nivel del mar, y, por consiguiente, permaneciendo siempre constante la diferencia de los dos niveles, la presion del aire exterior, que es su resultado, y por tanto, la potencia que esta presion desarrolla, debe ser siempre igual y constante.

Además, si, antes que el trabajo cese, lo que sucederá cuando el departamento superior quede en seco, se abre una llave que ponga en comunicacion la parte superior del departamento inferior *F* con el aire exterior, es evidente que este aire, penetrando libremente en el departamento, permitirá que el agua en él contenida, cediendo á su propio peso, salga á medida que baje el nivel del Océano, hasta el punto en que *F* no contenga más agua que la que habia antes de comenzar el flujo. Si se cierra entonces la llave citada, el recipiente inferior estará en disposicion de comenzar de nuevo su trabajo á la inmediata creciente de la marea.

Y así sucesivamente.

Resulta, pues, que, con un depósito de dos compartimentos (*fig.* 556) como los que acabamos de describir, se puede convertir en trabajo útil una parte de la marea creciente por medio de compresion, y una parte de la menguante por medio de succion.

Cualquiera que sea esta parte de la creciente y de la menguante, cada período de trabajo será seguido inevitablemente de otro período de huelga.

Verdad es que hay seguridad de obtener todos los dias, ó más bien cada $24^h\ 50'$, un trabajo de una potencia y duracion determinadas; pero este trabajo no es contínuo, y las horas durante las cuales se puede efectuar, varían cada dia.

Por eso, el sistema de utilizar así el trabajo obtenido por las crecientes y las menguantes no puede convenir sino á aquellas industrias en que no se necesite de operarios, y en que el aparato motor, vigilado por una ó dos personas, haga por sí solo todo el trabajo, como, por ejemplo, los molinos de todas clases, las máquinas de elevar aguas, las sierras, etc.

Para otras industrias en que sean necesarios los obreros, y, por consiguiente, un trabajo á hora fija, sin interrupcion, ó interrumpido y proseguido á voluntad, es necesario adoptar otro sistema (*fig.* 556).

Este sistema consiste: primero, en añadir á los dos departamentos *F* y *G* de que hemos tratado hasta ahora, otro depósito *G' G'* en lo alto, al que se dará el nombre de «campana de reserva,» y en seguida dotar el aparato motor, de cierto número de bombas para comprimir aire, y de un segundo cilindro, que pueda, á voluntad y separadamente, unirse ó no al aparato, que llamaremos «compreso-motor.»

Entonces se utilizará el trabajo de las crecientes y de las menguantes que se verifican mientras los trabajos de la fábrica están sus-

pendidos, como, por ejemplo, durante la noche, los domingos, etc., en hacer funcionar las bombas por medio del «aparato compreso-motor,» trabajando con dos cilindros para encerrar y comprimir una cantidad de aire en la «campana de reserva.» Tambien podrá utilizarse el trabajo de las grandes crecientes y menguantes aun durante las horas de trabajo de la fábrica, á fin de utilizar el exceso de potencia, no solo en los trabajos comunes y corrientes, sino tambien y al propio tiempo, en hacer funcionar parte de las bombas, y

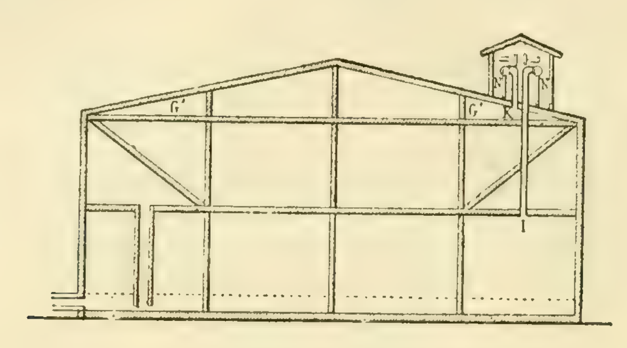


Fig. 556.

comprimir y encerrár con ellas una cierta cantidad de aire en la «campana de reserva.» De este modo, cuando la marea creciente ó menguante no ha llegado aún al punto deseado para poder ejercer su trabajo, se obtendrá la fuerza motriz necesaria á los trabajos de la fábrica, sin más que suprimir en el aparato compreso-motor todas las bombas y uno de los cilindros, y poner el aparato, convertido así simplemente en motor, y de un cilindro, en comunicacion con la campana de reserva, etc.»

## III.

Una extraña aplicacion puede tener la idea que, para utilizar las olas por medio de cajas de aire, quedó explanada en las páginas 657 á 660.

Esas cajas de aire (construidas ahora de hierro ó acero) pueden ser «receptores de la fuerza del mar» en los buques; y servir, por tanto, para la propulsion de las naves en los dias no bonancibles.

Nada más óbvio que imaginar cajas de esa especie dentro de las naves á los costados y sitios convenientes, en sustitucion de los recipientes-estancos hoy tan en boga; sustitucion tanto más ventajosa cuanto que esas cajas pueden hacerse estancas, caso de necesidad.

Cuando vengan las olas, penetrará el agua en tales cajas; y, así, podrán utilizarse, amortiguándolos, los balances y cabeceos de los barcos,

O bien comprimiendo aire;

O bien admitiendo agua dentro del buque á nivel más alto que el oceánico.

Teniendo ya agua en alto, ó aire comprimido, fácil es aprovechar su potencia.

Véase (pág. 474) lo dicho con ocasion del buque de guerra inglés la *Waterwitch*.

# LIBRO III.

---

## ALMACENAJE Y REPARTO DEL AIRE COMPRIMIDO.

# CAPÍTULO I.

## CANALIZACION.

---

I.

Manifestado el «cómo» hemos de recoger la fuerza de las mareas y la de las olas, cumple ahora exponer los medios adecuados para almacenarla y repartirla.

II.

Con una ensenada que tenga $216000^{m^2}$ de superficie, para alimentar á razon de $30^{m^3}$ por segundo los receptores rotatorios, habrá potencia suficiente, en los grandes aguajes, para mover foros que condensen á $2^{atm}$ más de $160^{m^3}$ de aire por minuto.

Con efecto; en una marea de $3^{m}$ de altura sobre la inmediata bajamar saldrian de esa ensenada:

$$\text{En } 1^{minuto},\ 30^{m^3} \times 60^{s} = 1800^{m^3}$$
$$\text{En } 1^{hora},\ 1800^{m^3} \times 60^{min} = 108000^{m^3}.$$

Si de esa ensenada de $216000^{m^2}$ sale, pues, una masa líquida igual á $108000^{m^3}$, el nivel se deprimirá únicamente $\frac{1}{2}^{m}$ de altura cada hora, con lo cual se estaba en las condiciones del problema (1).

Supongamos que todas las mareas del año sean de $3^{m}$ en España (lo que evidentemente para nuestro país es excesivo).

Entonces, consumiendo el receptor doblemente rotatorio $30^{m^3}$ de agua marina por segundo, efectuaría cada uno de sus cilindros gemelos una rotacion de 360° en 25 segundos, lo cual causaría otra rotacion completa del foro descrito primeramente á la pág. 593, en $137\frac{1}{2}$ segundos.

$$25^{s} \times 5^{m},5 = 137^{s},5;$$

---

(1) Bien se ve que cualquier mediana anfractuosidad de una costa ha de tener una superficie $> 216^{m} \times 1000^{m}$.

porque los radios de la polea motora del cable y el del foro celular son entre sí

: : 1 : 5,5 (segun lo dicho pág. 718).

Por consiguiente (pág. 593):

$$\text{Si en } 137^{s},5 \text{ se comprimen } 374^{m^3},69 :: 60 : x,$$

$$x = 163^{m^3},5 \text{ por minuto á } 2^{atm}.$$

Con 2 haces que recondensaran y percondensaran esta masa gaseosa hasta darle $8^{atm}$ de tension (para lo cual se necesitaría casi una triple superficie de ensenada) tendríamos reducido este gran volúmen de aire cada minuto á

$$\frac{163^{m^3},5}{8} = 20^{m^3},4375.$$

El aparato, por término general, funcionaría en los dias de calma durante 4 horas; de modo que en cada creciente y en cada menguante obtendríamos la siguiente masa de aire á $8^{atm}$:

$$20^{m^3},44 \times 60^{min} \times 4^{h} = 4906^{m^3};$$

Y al dia, siendo 4 las tareas:

$$4906^{m^3} \times 4 = 19624^{m^3} \text{ de aire á } 8^{atm}.$$

III.

Con estos antecedentes contestemos á la pregunta: ¿cómo distribuir esta fuerza conquistada á la rotacion de la tierra y á las atracciones del sol y de la luna sobre los Océanos y la atmósfera?

IV.

Es óbvio que no ha de recogerse la fuerza del mar y de los vientos donde no haya de ser inmediatamente consumida por centros industriales y mercantiles.

Veamos un ejemplo.

Supongamos, pues, establecida frente al Caño Borriquera, á orillas del Sancti Petri (brazo de mar que hace isla á las ciudades de Cádiz y San Fernando) una gran factoría, distribuidora de la fuerza del mar á las contíguas

poblaciones: Cádiz, San Fernando, Puerto Real, El Trocadero, Puerto de Santa María y Jerez.

Para llevar hasta todos esos centros el aire, comprimido por el Sancti Petri, sería conveniente condensar el aire á muy alta tension, y emplear tubos del mayor diámetro que buenamente fuera posible obtener en condiciones industriales y económicas, pues las pérdidas en el trayecto son tanto menores cuanto mayores son diámetro y tension en extensas canalizaciones.

Pero limitemos la tension á $8^{atm}$;

Y fabriquemos tubos cuya seccion circular tenga $2500^{c^2}$, y sean de 4 metros de longitud: su cabida será igual á $1^{m^3}$.

Yo bien sé, que no es frecuente emplear á $8^{atm}$ tuberías de $28^c,21$ de radio; pero estoy seguro de que la industria sabrá salir airosa de esta dificultad, en cuanto el problema se le llegue á presentar.

Conduzcamos, pues, por tubos de esta clase la fuerza del mar en aire comprimido á los centros y pueblos mencionados, y veamos cuántos kilómetros de tubería nos serían menester.

Caminando casi en línea recta (lo que sería imposible), y sin contar con los accidentes del terreno ni las conveniencias de la instalacion, las siguientes son las distancias en números redondos:

| | | |
|---|---|---|
| Desde Caño Borriquera á Cádiz............ | 14000 | metros. |
| — á San Fernando..... | 5000 | |
| De San Fernando al Arsenal.............. | 4000 | |
| Del Arsenal á Puerto Real................ | 5000 | |
| De Puerto Real al Trocadero.............. | 5000 | |
| De Puerto Real al Puerto de Santa María.... | 8500 | |
| Del Puerto de Santa María á Jerez......... | 12000 | |
| | ——— | 53500 |

Por manera que, contando (como es ineludible) con los accidentes del terreno, no será aventurado asegurar que necesitaríamos una cantidad de tubos suficiente á tener almacenado en tan extensa canalizacion un dia de trabajo de las mareas.

## V.

Hé aquí, pues, el almacen: la gran tubería de conduccion.

Cosa análoga sucede con los 18 ó 20 kilómetros de cañerías destinadas á la distribucion de las aguas en cualquier poblacion de importancia, como Madrid, por ejemplo. Las empresas, en los tiempos de escasez, cuentan, además del agua encerráda en los depósitos, con el líquido contenido en los tubos de distribucion.

## VI.

Esto no quitaría el que en cada poblacion hubiese *relais*, ó depósitos especiales, y lo mismo en cada fábrica (1) ó taller, compuestos de tubos de la misma clase, para que allí se restableciese la presion, y desde ellos se hiciese el reparto final por cañerías de reducido diámetro.

Los tubos del *relais* podrian colocarse con el eje horizontal como las pilas de balas en las fortificaciones.

Así podrian ser visitados con facilidad, y reemplazados en caso preciso. El espacio que ocupasen sería de este modo poco considerable.

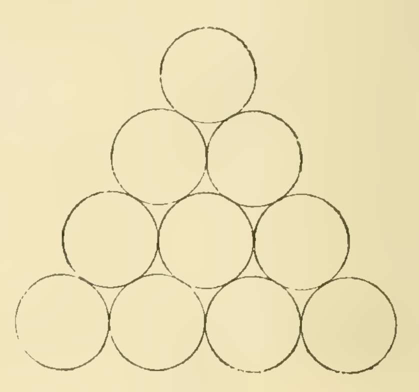


Fig. 557.

Todavía ocuparian ménos colocados los tubos verticalmente, es decir, sobre una de sus bases circulares, ó con las generatrices perpendiculares al suelo.

Las paredes de las oficinas y de los talleres, los pilares de los almacenes, los techos y pisos de los talleres mismos, etc., podian estar formados de estos tubos que, embetunados y provistos de aire seco, no experimentarían deterioro.

---

(1) C. W. Siemens ha construido recipientes de $1^{m}$ de diámetro y 4,27 de longitud, capaces de resistir á $91^{atm}$. Estos recipientes están constituidos por 14 anillos cilíndricos de $1^{m}$ de diámetro y $0^{m},305$ de altura: son de acero, estirados circularmente como las llantas de las ruedas.

El recipiente está cerrado por casquetes hemi-esféricos. Los anillos y los casquetes están reforzados por collares poco salientes. Cada collar tiene una ranura en forma de V, hecha al torno. Aros de alambre rojo bien recocido, de 8 milímetros de espesor y de un diámetro igual al de dichas ranuras en forma de V, se colocan entre los collares. Dos coronas de acero fundido, atravesada cada una por 20 agujeros de 35 milímetros, se ajustan sobre los collares de los casquetes. Largas barras de acero de 32 milímetros, reforzadas á casi 35 milímetros en las partes extremas, donde hay roscas de tornillo, reunen entre sí los anillos y los casquetes. El acero de estas barras resiste á una traccion de 77 kilógramos por milímetro cuadrado, y contiene 5 décimos por 100 de carbon, lo que les permite conservar indefinidamente su elasticidad. El acero de los anillos es capaz de resistir á una traccion de 70 kilógramos por milímetro cuadrado, y es susceptible de un alargamiento de 8 á 10 por 100 antes de la ruptura.

A 98 kilógramos de presion, todas las junturas empezaron á rezumarse; pero disminuida la presion á $91^{k}$ por centímetro cuadrado, el recipiente volvió á quedar herméticamente estancado.

Aunque los anillos, los casquetes y las barras estaban calculados para $140^{atm}$, se estimó conveniente no apretar más los tornillos, á fin de que, en caso de accidente, pudiesen estirarse y servir las barras como una especie de válvula de seguridad.

Este recipiente se ha construido en la oficina de aceros de Landore, y será destinado á una locomotora de aire comprimido. (*Resúmen del* Engineering.)

Por de contado, los cilindros pueden tener más de 14 anillos; pues, como se ve, el número de ellos puede ser ilimitado.

Siemens ha construido así acumuladores hidráulicos, etc.

Los extremos pueden ser no esféricos, sino cónicos, etc.

## VII.

Desde luego podemos anticipar que nada habíamos de perder en percondensar exageradamente el aire seco, puesto que habíamos de consumirlo despues en aero-motores que utilizasen la expansion.

En tal caso, la misma tubería principal podria contener 2 dias de trabajo, duplicando la tension, ó sea elevándola á la de 16 atmósferas; y la de 4 dias llevándola hasta 32, etc.

## VIII.

Pero ya oigo decir: ¿qué necesidad puede haber de tener en reserva el trabajo de 24, ó 48 ó más horas de marea?

En primer lugar, para trabajar luego á la mayor tension posible y con constancia.

En segundo lugar, porque la mano de obra viene á ser la misma en una entubacion de gran diámetro que en otra de pequeño.

En tercer lugar, porque así la factoría puede estar segura de extender sus operaciones á pueblos muy distantes, sin temer que en el trayecto desaparezcan fracciones considerables de la tension existente en el punto de partida.

Y en cuarto, porque solo considerables reservas pueden hacer frente con perfecta regularidad á las horas de huelga de los receptores; y, sobre todo, á la cicatera altura de las mareas muertas (1).

## IX.

En verdad, hablo con temor de estos tubos y de estas presiones, porque no tengo noticia de instalaciones análogas en tal escala (2). Tal vez exista algo

---

(1) Nuevos medios, nuevas costumbres. Si no quisiera tenerse en depósito tan gran reserva de aire comprimido, ahorrándose, por consiguiente, el coste ocasionado por los grandes diámetros de los tubos (si bien su longitud no disminuiría) serían por precision dias de huelga los de las cuadraturas y las mareas muertas, los cuales naturalmente se harían de fiesta ó de descanso de todas las industrias. El calendario resultaría en este sentido dependiente de las fases de la luna, con más motivo sin duda que el de los pueblos sectarios de Mahoma.

(2) Debe tenerse en cuenta que los tubos de gran diámetro cuestan ménos proporcionalmente que los pequeños, por cuanto un pequeño aumento en el diámetro acrecienta muy rápidamente la capacidad.

La fuerza de un tubo varía inversamente al diámetro y al espesor;

Y para presion externa, la fuerza de resistencia decrece con más rapidez que el espesor. (*Rankine Treatise on the steam engine.*)

Los tubos de hierro, colados verticalmente, sistema Petit, perfeccionado por Lavril, se prueban á la presion de $15^{atm}$; y, despues de colocados, se vuelven á probar con sus uniones á la de 10. Creo que á la misma prueba se someten los de Festugiére.

semejante, pero lo ignoro. Supongo que en las conducciones de aguas debe haber entubaciones de grandes diámetros y presiones considerables, pero no me consta.

Sin embargo, si ya hace muchos años los tubos CHAMEROY, de hierro laminado, de $40^{c}$ de diámetro, triunfaban de la presion de $15^{atm}$, á que se los sometia en la presion hidráulica antes de embetunarlos; y si, despues de embetunarlos, resistian hasta 30 (1), ¿no debo esperar que la industria actual sepa fabricar corrientemente la tubería que propongo?

## X.

Respecto á si los tubos han de estar dados de betun ó no (2), á las precauciones que deban adoptarse contra las dilataciones y contracciones dependientes de los cambios de temperatura, al modo de suspension de los conductos, á los reguladores de presion, si se juzgan necesarios, á los organismos de purga y evacuacion, á las válvulas de seguridad, á las juntas de los tubos, á los *relais*....., etc., etc., hombres especiales y de experiencia deberán decidir con su voto autorizado.

## XI.

En resúmen, lo mejor sería:

1.° Recoger la fuerza del mar por medio de una ensenada, una dársena y aparatos doblemente rotatorios;

2.° Transformarla por foros celulares en aire comprimido;

3.° Almacenarla en grandes canalizaciones y en *relais* de capacidad conveniente.

## XII.

Mirando al porvenir, parece de vulgar prudencia y discrecion destinar constantemente una parte de la potencia transformada en aire comprimido, á

---

(1) En España se fabrican ya estos tubos: los CHAMEROY en Villanueva y Geltrú; los LAVRIL y FESTUGIÉRE en Barcelona,

Los tubos de las calderas de KELLY, de 3 pulgadas de diámetro, están probados á la presion de 400 libras por pulgada cuadrada.

Las costuras de las calderas son causas de incertidumbre en cuanto á la resistencia, y más mientras mayor es el espesor de las planchas: de aquí la necesidad de las construcciones multitubulares de poco diámetro. Pero entonces aparece la dificultad de las muchas juntas, y del mucho espacio. El peso, cuando se usa el hierro colado, es muy grande, y el costo mucho, y el fluido se escapa por los poros del hierro colado.

(2) Segun OLRIK, un recipiente de hierro colado que habia resistido sin escapes una presion hidráulica de $8^{atm}$, no era impermeable al aire comprimido desde 2 en adelante. Pero, barnizado el interior del recipiente, éste se hizo impermeable al aire comprimido.

COWPER dice que hay un medio simplicísimo de hacer impermeable al aire comprimido los poros del metal, y es el de irrigar el exterior con agua de jabon (*Eau savonneuse*), mientras la presion obra interiormente.

la preparacion de nuevas ensenadas, ó al engrandecimiento de las ya en explotacion, á la edificacion de nuevas dársenas, y á la construccion de nuevos receptores y multiplicacion armónica de los foros celulares.

La mano de obra, así, nada costaría, porque las atracciones de los dos grandes luminares se encargarían de ella, juntamente con la inagotable rotacion terrestre.

Y, sobrando la fuerza eterna de estas moles astronómicas, los nuevos malecones habian de aspirar igualmente á una gran longevidad, y habian de construirse con bloques y sillares, que causasen envidia á las generaciones de los menhires, de los dólmenes y de los obeliscos, á fin de oponer á las erosiones del mar, durante siglos, murallas de titanes: que ya es llegado el caso de hacer, en bien de la Humanidad y con la sola esclavitud de las fuerzas naturales, construcciones tan permanentes como las que la vanidad de los Faraones, ó la soberbia y la supersticion de razas bien inferiores á la nuestra, supieron levantar en eras de ignorancia y despotismo, con la brutal esclavitud de pueblos conquistados y la abyeccion de razas oprimidas.

El DOLOR, llorando, levantó las inútiles Pirámides; la CIENCIA, sonriendo debe ya ver á sus plantas las olas y los vientos, sistemáticamente consagrados al bienhechor trabajo de la Industria.

# LIBRO IV.

---

## APROVECHAMIENTO DEL AIRE COMPRIMIDO.

# CAPITULO I.

## ESCASO RENDIMIENTO ACTUAL DE LOS AERO-MOTORES.

### I.

Los émbolos diferenciales pueden ser un precioso órgano aero-motor.

Antes de entrar en materia, conviene, para la debida claridad, recordar algunos antecedentes.

Ya hácia la pág. 217 vimos cuán escaso es, en general, el rendimiento del aire comprimido, que suele solo llegar á 20 por 100 en los aero-motores de algo elevada presion. Vimos tambien que este agente percondensado tiene que pechar con las pérdidas y resistencias pasivas del motor primario, con las del compresor, con las de la canalizacion y con las del aero-motor mismo. Esto por una parte. Por otra, pecha tambien con las pérdidas que, á causa del calor, se sufren en el compresor durante el período de condensacion; y, por fin, pecha igualmente con las que, á causa del enfriamiento de la dilatacion, experimenta el aero-motor mismo, si trabaja con expansion. Y vimos en el propio lugar, que las pérdidas por resistencias pasivas y desarrollo de calor en los compresores, eran relativamente de poca importancia, comparadas con las que sufre el aero-motor, por haber de funcionar á presion plena, si ha de evitarse la formacion del hielo, ó arrastrarlo cuando se forma: de aquí el afan por trabajar con aire seco, ó calentar el aire húmedo.

El urgente *desideratum* de la Pneumo-dinámica es hoy por hoy el aprovechamiento de toda la fuerza almacenada en el aire, ó al ménos de una gran fraccion, mediante el empleo de un organismo verdaderamente práctico que utilice la expansion. Ya hemos visto que Mékarski dobla el rendimiento calentando el aire en sus coches de tranvía.

### II.

Los aero-motores serán buenos aparatos cuando devuelvan casi todo el trabajo gastado en comprimir el aire que los pone en movimiento: y esto no se logrará mientras no sepa aprovecharse en grande su potencia de dilatacion.

La presion que se pierde trabajando solo á presion plena es tan conside-

rable, que no puede formarse bien idea de su cuantía, sin hacer al efecto un estudio especial.

Ya sabemos que no se puede almacenar aire, por ejemplo, á $8^{atm}$, sin haber estado gastando una gran cantidad de trabajo para condensarlo antes á 7, y anteriormente á 6, y préviamente á 5, y todavía antes á 4..... Por manera que, á fin de tener el aire en disposicion de ser almacenado á $8^{atm}$, ha habido que invertir una gran suma de sucesivos esfuerzos para elevarlo hasta la tension de $7^{atm}$,999.....; siempre en gradacion ascendente desde la densidad atmosférica normal.

Realizado al fin este gran trabajo de esfuerzos crecientes, hacemos luego otro de esfuerzo constante para almacenar á 8 atmósferas el aire ya condensado.

En el trabajo de esfuerzos crecientes anda el piston los $\frac{7}{8}$ de su carrera en el sistema monocilíndrico: en el de esfuerzos constantes anda solo $\frac{1}{8}$.

Ahora bien: para obligar al piston á recorrer las $\frac{7}{8}$ partes del cilindro, hay que gastar una fuerza, que llamaremos *F;* y en obligarlo á que recorra la octava parte restante se gastará otra fuerza, que llamaremos $F'$*:* el total de fuerza gastada es, pues,

$$F + F'.$$

Pues trabajando á presion plena, solo se aprovecha el sumando $F'$, y se desperdicia todo el *F;* sin sacarse de esa enorme pérdida otro aprovechamiento que el de despejar de hielo los orificios de salida, cuando (en el espacio de un momento) se escapa del cilindro el aire percondensado con la furia espantosa que supone todo el trabajo de esfuerzos crecientes invertido en comprimir el gas desde la tension ambiente hasta la de 7,9999.....

Y tan enorme es esa pérdida, y aumenta tanto con la percondensacion, que, cuando la tension es muy elevada, viene á ser lo que se aprovecha una fraccion mezquina del trabajo total $F + F'$. De otro modo, el sumando $F'$ es muy pequeño comparado con *F*.

Y es que solo se utiliza el trabajo del almacenaje $= F'$ cuando el aeromotor funciona á plena presion; y el almacenaje tiene un límite CONSTANTE, sea la que fuere la tension, mientras que el trabajo de esfuerzos crecientes puede aumentar ilimitadamente, y aumenta, con efecto, en razon directa de las tensiones.

Que el almacenaje es una cantidad constante, se ve con toda evidencia en el sistema diferencial; pues en este sistema se efectúa siempre ese almacenaje (sea el que fuere el número de atmósferas á que elevemos la tension) por la potencia sola del auxilio atmosférico; y esta potencia es CONSTANTE EN CADA JUEGO de aparatos ó cilindros logarítmicos.

Pero no es tan fácil de ver que el almacenaje tiende á un límite infranqueable en el sistema monocilíndrico, porque no es evidente lo que importa el auxilio atmosférico en el sistema de un cilindro solo, toda vez que la influencia

de ese auxilio se hace sentir, así en el período de los esfuerzos crecientes como en el del esfuerzo constante.

III.

Volvamos á imaginar aquel cilindro hipotético, considerado como módulo al fin de la pág. 327. Su base era de 1 módulo kilogramétrico, y su altura 64 metros, recorridos por el piston á razon de 1 metro por segundo.

Cuando el piston, bajando, haya descendido hasta la division 32, el aire interior estará á 2 atmósferas, y el almacenaje costará

$32^{m} \times 2^{k}$ ........................ = 64 kilográmetros
Descontando el auxilio atmosférico...... = 32

Cantidad necesaria para el almacenaje del aire á 2 atmósferas.................... 32 kilográmetros

Aumentemos la tension. Cuando el piston haya bajado á la division 48, estará el aire á 4 atmósferas; y, para el almacenaje, entonces, habrá que descender aún 16 metros: tendremos

$16^{m} \times 4^{k}$ ........................ = 64 kilográmetros
Auxilio atmosférico.................. = 16

Cantidad necesaria para el almacenaje á $4^{atm}$. 48 kilográmetros

Sigamos aumentando la tension.
Para la division 56 resultará:

$8^{m} \times 8^{k}$ ........................ = 64 kilográmetros
Auxilio atmosférico.................. = 8

Cantidad necesaria para el almacenaje á $8^{atm}$. 56 kilográmetros


Fig. 558.

En general, el minuendo, para el cálculo del almacenaje, es siempre = 64 kilográmetros en nuestro hipotético cilindro-módulo; cantidad constante. De ella hay que descontar como sustraendo, segun sea el estado de la condensacion, el término que corresponda de la progresion geométrica decreciente

$$:: 32 : 16 : 8 : 4 : .....;$$

cada uno de los cuales sustraendos representa (respectivamente) el auxilio atmosférico á cada etapa de la compresion.

Por consiguiente, jamás la resistencia al almacenaje importará los 64 ki-

lográmetros por el sistema monocilíndrico en nuestro tubo hipotético, toda vez que de ese minuendo, = 64, ha de haber siempre algo que rebajar, por poco que sea; y de consiguiente (nótese bien) nunca llegará á ser igual á 64 kilográmetros lo que en el CORRESPONDIENTE aero-motor pueda aprovecharse trabajando á presion plena. Mientras mas alta fuere la tension, más se acercará el rendimiento á ser los 64 kilográmetros; pero nunca será 64 justamente.

## IV.

Como en el sistema monocilíndrico no es posible almacenar el aire sin un trabajo prévio (que es el que se pierde por funcionar el aero-motor á presion plena), veamos ahora de averiguar en qué razon está lo que se utiliza con lo que se desaprovecha trabajando sin expansion en un solo cilindro.

El estado de la pág. 329 manifiesta que el trabajo prévio para tener al aire comprimido en disposicion de almacenarlo á la tension de $2^{atm}$ = $12^{kgm},341$

Segun el estado 1.° de la pág. 328, el trabajo prévio desde $1^{atm}$ á 3,999..... es como sigue:

| | |
|---|---|
| De 1 á $2^{atm}$ ............................ | 12,341 |
| De 2 á $4^{atm}$ ............................ | 28,367 |
| Total del trabajo prévio hasta $4^{atm}$..... = | 40,708 |

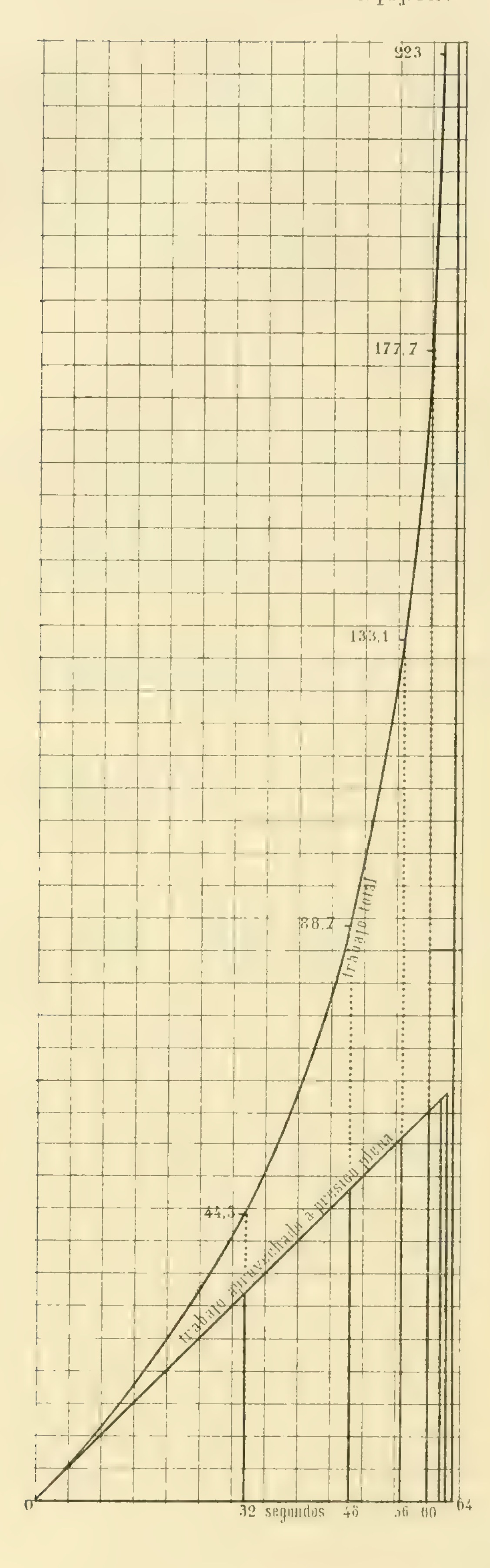
Si llegamos á $8^{atm}$, tendremos (segun el 2.° estado de la misma pág. 328):

| | |
|---|---|
| De 1 á $2^{atm}$ ............................ | 12,341 |
| De 2 á $4^{atm}$ ............................ | 28,367 |
| De 4 á $7^{atm},999$.. ...................... | 36,420 |
| Total del trabajo prévio para $8^{atm}$.....= | 77,128 |

Y así sucesivamente.

Con los datos, pues, de aquellos estados resulta formado el siguiente, relativo al cilindro-módulo hipotético.

(Frente á la pág. 749)



*Trabajo aprovechado y perdido en el aero-motor correspondiente, si trabaja á presion plena: está descontado el auxilio atmosférico.*

| | Trabajo del almacenaje, que es el utilizado en el aero-motor, funcionando á presion plena. | Trabajo prévio, que es el que se desaprovecha á presion plena. | Total de ambos trabajos. | El trabajo utilizado es próximamente al trabajo total. |
|---|---|---|---|---|
| De 1 á $2^{atm}$...... | 64 — 32 = 32 | 0 + 12,341 = 12,341 | 44,341 | :: 72 : 100 |
| De 1 á $4^{atm}$...... | 64 — 16 = 48 | 12,341 + 28,367 = 40,708 | 88,708 | :: 54 : 100 |
| De 1 á $8^{atm}$...... | 64 — 8 = 56 | 40,708 + 36,420 = 77,128 | 133,128 | :: 42 : 100 |
| De 1 á $16^{atm}$...... | 64 — 4 = 60 | 77,128 + 40,608 = 117,736 | 177,736 | :: 34 : 100 |
| De 1 á $32^{atm}$, etc.. | 64 — 2 = 62 | 117,736 + 43,333 = 161,069 | 223,069 | :: 28 : 100 |

El trabajo total puede, pues, crecer ilimitadamente, y el utilizable á presion plena, no puede llegar á 64 nunca: en el caso de $32^{atm}$, se aprovecha 62 y se desperdicia 161.

Véase el diagrama adjunto.

El diagrama nos evidencia que el trabajo total, representado por la línea curva, puede, sin limitacion alguna, ir creciendo $44\frac{1}{3}$ kilográmetros por cada vez que se doble la densidad, acercándose asimptóticamente la curva que lo simboliza á la ordenada final del tiempo (en nuestro caso, á la ordenada levantada sobre el segundo de tiempo núm. 64).

El trabajo aprovechado á presion plena está representado por la línea recta que desde cero se dirige oblícuamente á la misma ordenada núm. 64, á la cual se acerca tambien asimptóticamente; pero, por incrementos tan insensibles, que solo teóricamente se pueden concebir.

Y no se olvide que esto es en el supuesto (inadmisible cuando se trata del sistema monocilíndrico) de que la ley de Gay-Lussac no influya para nada en la ley de Mariotte (ó bien de que el agua refrigerante, inyectada en polvo superabundantemente, no ocupe un volúmen mucho mayor que el de los espacios perjudiciales).

# CAPÍTULO II.

## MEDIOS DE AUMENTAR EL RENDIMIENTO.

---

### I.

Conocidas la razon y la cuantía del escaso rendimiento del trabajo aeromotor, veamos de ocuparnos en su remedio.

La expansion del aire comprimido no puede verificarse sino á expensas del calor contenido en la masa misma del gas, á ménos de no restituir á esa masa el calor que se gasta en la expansion (ó, lo que es lo mismo, que se consume en la dilatacion molecular).

Si no se caleface la masa de aire, el descenso de la temperatura hará que influya poderosamente la ley de Gay-Lussac en la de Mariotte, y el decremento de la tension será mucho mayor de lo correspondiente á la esencia de esta segunda ley. De aquí que la pérdida será tanto más importante, cuanto la percondensacion fué más intensa; porque, mientras más elevada, más hielo se produce con la brusquedad de la expansion del aire húmedo.

Pero ¿existen medios fáciles para la calefaccion eficaz de una masa gaseosa que se dilata?

### II.

Por de pronto nada más fácil que recurrir al procedimiento Mékarski.

Pero parece no ser necesario calentar el agua.

Inyectado este líquido en polvo á la temperatura ambiente, resulta ser un muy potente medio de calefaccion.

¡Cómo!

¿El agua fria?

¿Pues no nos servía ese líquido de poderoso recurso de frigorizacion?

¿Lo que entonces producia frio, ha de servir ahora para producir calor?

Nunca, tal vez, como en este caso puede asegurarse que todo es relativo. El agua á 20° es un gran manantial de frio, respecto de temperaturas capaces de fundir el azufre, el estaño, y hasta el bismuto y el plomo.....; y el agua, á los mismos 20°, es una considerable fuente de calor respecto de temperaturas tan

enormemente bajas, que pueden solidificar el cianógeno, el mercurio, el éter sulfúrico, y hasta el ácido sulfuroso.

Pero ¿cómo es que todavía no se ha recurrido industrialmente á la pulverizacion del agua, para aumentar el efecto útil de los aero-motores, suministrando así al aire comprimido, por medio del líquido calefaciente, toda la temperatura que pierde durante el proceso de la dilatacion?

¿Cómo este medio tan sencillo no ha entrado aún en las regiones de la práctica?

¿Cómo es que para la calefaccion del aire se han propuesto con toda seriedad recursos insensatos? (1)

En verdad que no lo entiendo.

III.

Los medios usados como frigoríficos durante las condensaciones, deben tambien emplearse como calefacientes durante las dilataciones del aire. Todos, sin exceptuar ninguno, pueden tener aplicacion.

El aire seco en los aero-motores, al dilatarse, desarrolla doble frio que el saturado de humedad. Pero con aire perfectamente seco no habria hielo, si bien se solidificarían las grasas lubricantes; y, por el gran descenso de la temperatura, influiría acaso mucho la ley de Gay-Lussac en la de Mariotte.

En segundo lugar, debe establecerse una activa circulacion de agua al rededor de los cilindros aero-motores, sus fondos, pistones y vástagos.

En tercer lugar, debe inyectarse el agua en polvo dentro de los cilindros para restituir, por infinitos puntos de contacto, al aire que, dilatándose, se enfria, el calor de resorte que se disipa en el aumento de volúmen.

Debe, en fin, disponerse el proceso de la expansion de modo que, si los aero-motores son cilindros de émbolos diferenciales conjugados logarítmicamente, el descenso de cada tension á su mitad se realice en tiempos iguales, recorriendo los émbolos caminos iguales, y moviendo pesos iguales.

Estos aero-motores de émbolos conjugados son evidentemente nuestros compresores tomados *à contrario sensu;* y, por tanto, cuanto tenemos estudiado, con ocasion del desarrollo del calor en las compresiones, debe valer, inversamente, para el descenso de la temperatura en la dilatacion. Todo es similar, excepto el sentido.

---

(1) Por ejemplo, rodear de agua los cilindros, y apagar en ella cal viva. ¡Qué gasto *¡Quèl encombrement!*

## IV.

Acaso la impresion del primer momento haga pensar que sean necesarias grandes masas de agua pulverizada á 20°, para impedir que baje á cero la temperatura del aire, cuando el gas se dilata.

Pero en verdad que esas cantidades son insignificantes.

No llegan á $\frac{3}{4}$ de litro por metro cúbico de aire comprimido á 15 atmósferas. Véase el siguiente estado, que copio de PERNOLET, á quien corresponde, en mi entender, la prioridad de la idea de calefacer el aire, durante su dilatacion, por los mismos medios que sirvieron para absorber el calor durante el proceso comprimente.

Júzguese cuánto disminuirá esta cantidad de agua realizándose la dilatacion, como puede realizarse, en cilindros diferenciales, con lentitud muchas veces mayor, que por el sistema monocilíndrico, y dando lugar á que el proceso natural de la irradiacion de los cuerpos circunstantes, devuelva al aire frio el calor de resorte que causa su expansion (1).

| Presion absoluta, á la cual el aire comprimido entra en el aero motor. | Cantidad de calor que hay que suministrarle para mantener á cero la temperatura del aire durante su dilatacion, que se supone continuada hasta hacerse igual á la de la atmósfera ambiente. | Peso del agua en polvo que debe inyectarse en el aero-motor por kilógramo de aire (2) comprimido entrado en él, para impedir que la temperatura descienda bajo cero durante todo el proceso de la expansion. | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Si el agua se inyecta á 20°, se necesita en kilógramos. | Si el agua se inyecta á 50°, se necesita en kilógramos. | Si el agua se inyecta á 100°, se necesita en kilógramos. |
| 2atm | 13,280 calorias | 0,134 | 0,103 | 0,074 |
| 3 | 21,030 | 0,212 | 0,163 | 0,117 |
| 4 | 26,550 | 0,268 | 0,206 | 0,148 |
| 5 | 30,828 | 0,311 | 0,240 | 0,178 |
| 6 | 34,334 | 0,346 | 0,266 | 0,192 |
| 7 | 37,285 | 0,376 | 0,289 | 0,208 |
| 8 | 39,833 | 0,402 | 0,309 | 0,223 |
| 9 | 42,094 | 0,425 | 0,326 | 0,235 |
| 10 | 44,106 | 0,445 | 0,342 | 0,247 |
| 11 | 45,945 | 0,464 | 0,356 | 0,256 |
| 12 | 47,612 | 0,480 | 0,369 | 0,266 |
| 13 | 49,145 | 0,496 | 0,381 | 0,274 |
| 14 | 50,562 | 0,510 | 0,392 | 0,282 |
| 15 | 51,885 | 0,524 | 0,402 | 0,290 |

(1) Tal vez pudiera sacarse gran partido de la percalefaccion del aire (despues de comprimido por fuerzas naturales gratuitas, como las mareas, etc.), inyectándolo en calderas de vapor de agua. El aumento de fuerza motriz, me parece que compensaría espléndidamente el costo del combustible.

Pero esta sugestion necesita un trabajo especial, que no he hecho.

(2) 1 metro cúbico de aire á $0^{m},76$ y seco y á 0° pesa, segun REGNAULT, $1^{k},2932$.

Por consiguiente:

1 kilógramo de aire á 0° y $0^{m},76$ ocupa un volúmen de $773275^{c^3},595$.

## V.

Si se emplean, pues, vigorosamente los indicados medios caloríficos en cilindros conjugados diferencialmente y conformes con la ley logarítmica, tengo para mí que la ley de Gay-Lussac no puede influir de un modo sensible en el rendimiento de los aero-motores; y que, como antes, toda su importancia quedará reducida á la de un coeficiente de correcciones secundario, que no debe jugar en la exposicion de la teoría general.

Paso, pues, á considerar los émbolos diferenciales como máquinas aero-motoras, con el fin de utilizar íntegro el trabajo préviamente almacenado en el aire comprimido, lo cual quiere decir, que los émbolos diferenciales deben funcionar con toda su expansion.

El lector supondrá siempre en las *figuras*, aunque no estén en ellas dibujados, los pulverizadores, caso de ser necesarios, y demás órganos de calefaccion del aire al dilatarse.

# CAPÍTULO III.

## LOS ÉMBOLOS DIFERENCIALES COMO AERO-MOTORES.

### I.

Vamos á considerar ahora los émbolos diferenciales como órgano motor (no compresor, segun ha sucedido hasta aquí).

Supongamos existente un grandioso receptáculo de aire comprimido, por ejemplo, á $8^{atm}$; y no nos cuidemos en este instante de investigar cómo se verificó la condensacion.

Unicamente nos cumple ahora averiguar cómo podrá utilizarse «por completo teóricamente;» ó, por lo ménos, en mucha parte, la fuerza en su compresion almacenada.

Pongamos un caso.

Sea un solo cilindro de 315 módulos kilogramétricos (*fig.* 559).

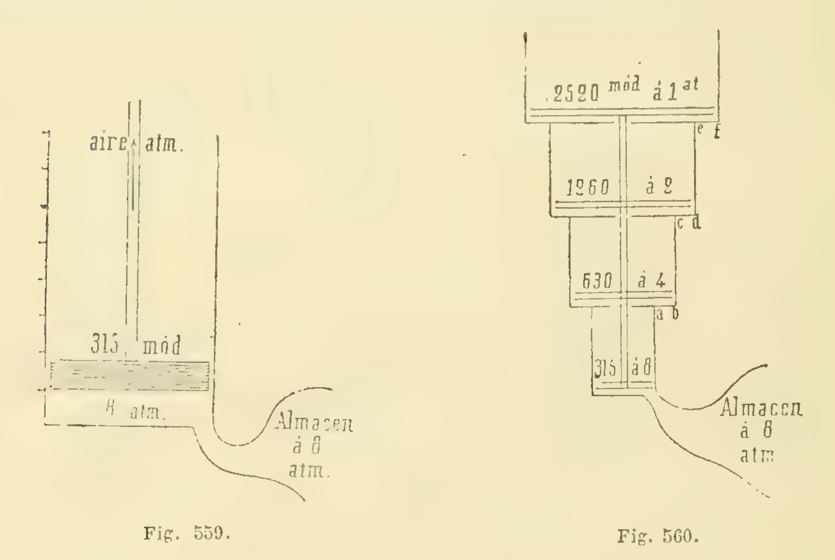



Fig. 559. Fig. 560.

Dejemos entrar por la parte inferior el aire ya comprimido á 8 atmósferas, y preguntemos: ¿cuánto podrá levantar el piston?

$$\text{Es claro: } 315 \times (8^{atm} - 1^{atm}) = 2105^{k} \text{ (1).}$$

(1) Se descuenta $1^{atm}$, porque hay que vencer la presion atmosférica.

Sea ahora un aparato de 4 cilindros, diferenciales geométricamente:

$$:: 315 : 630 : 1260 : 2520 \text{ (fig. 560)}.$$

¿Cuántos kilógramos podrá levantar el vástago conjugador, además de vencer la presion atmosférica?

Analicemos.

Las 8 atmósferas que actúan contra la cara inferior del émbolo menor, solo servirán para contrarestar la presion de la atmósfera ambiente, que pesa sobre la cara superior del émbolo mayor; porque

$$(\text{Potencia} = 315^{mod} \times 8^{atm}) = (\text{Resistencia} = 2520^{mod} \times 1^{atm}).$$

Pero entonces, ¿no es risible preguntar cuánto levantará el vástago? ¿De qué fuerza podemos disponer, si toda la hemos ya invertido?

RESPUESTA. De mucha todavía.

En efecto: cuando los émbolos empiezan á subir (como indica la *figura* 560), el ánulo *a b* es empujado con una fuerza de $8^{atm}$, el *c d* con la de 4; y el *e f* con la de 2.

Y, cuando los émbolos han llegado al fin de su carrera (*fig.* 561), todavía el ánulo *a b* es sostenido por $4^{atm}$; el *c d* por 2; y el *e f* por 1.

De manera que, AL EMPEZAR, el sistema de émbolos conjugados es capaz de levantar 7560 kilógramos; y, AL TERMINAR, puede aún levantar 3780 (justamente la mitad) (1): el promedio es, por tanto, $= 5670^k$.

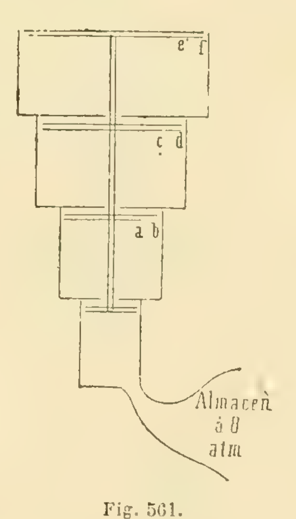


Fig. 561.

Obsérvese esto bien: el sistema de un solo cilindro con $315^{mod}$ en su base, no podria ascender, aun trabajando á presion plena, si se le opusiese una resistencia superior á 2105 kilógramos:

Mientras que el de los 4 émbolos conjugados, aun en su caso más desfavorable, puede con 3780 kilógramos, es decir, con un 55 por 100 más;

Y, tomando el promedio, como es debido, puede con $5680^k$, esto es, con 270 por 100 (siempre más del doble efectivo, por mucho que se quiera descontar de rozamientos y resistencias pasivas de toda clase).

| (1) Ánulos. | Fuerza al empezar. | Fuerza al concluir. | Promedios. |
|---|---|---|---|
| $ab = 315^{mod}$ | $315 \times 8^{atm} = 2520$ | $315 \times 4^{atm} = 1260$ | 1890 |
| $ef = 630$ | $630 \times 4^{atm} = 2520$ | $630 \times 2^{atm} = 1260$ | 1890 |
| $cd = 1260$ | $1260 \times 2^{atm} = 2520$ | $1260 \times 1^{atm} = 1260$ | 1890 |
| | 7560 | 3780 | 5670 |

## II.

Hé aquí un nuevo servicio que pueden realizar los émbolos diferenciales, por prestarse, como se ve, á utilizar en absoluto (si se prescinde de la ley de GAY-LUSSAC) la expansion de un gas comprimido préviamente (no importa ahora nada el medio empleado para efectuar la compresion).

Y, concretándonos al aire, podemos asegurar que las fuerzas en él depositadas, serán íntegramente recogidas, ó casi, con tal que (repitámoslo) se consiga dar de lado á la ley de GAY-LUSSAC.

## III.

¿Convendrán los émbolos intercalares? ¿Habrá unas proporciones mejores que otras?

Evidente es la contestacion.

Aquellas que más favorecen las condensaciones, son las que exigen ménos esfuerzo final; lo que equivale á decir que son tambien aquellas que, por distribuir mejor las resistencias, las hacen mayores al principio, y menores al fin; de modo que se aproximan mucho más los esfuerzos iniciales y finales.

Pero, si hacemos motores los émbolos conjugados, lo que más conviene es contar con una gran potencia final; y, como lo que en la compresion es principio, se convierte en fin cuando los émbolos en conjugacion se utilizan como órganos motores, claro es que lo que más favorable resulte para la compresion será tambien lo más adecuado para convertir la condensacion en movimiento.

Por tanto, los intercalares en razon radical, son los mejores; y casi iguales á estos los que se construyan segun una série cualquiera de la escala de la pluralidad.

## IV.

Suponiendo, pues, que usemos para motores émbolos conjugados, ¿cómo deben disponerse los juegos de válvulas, á fin de obtener la debida circulacion del aire comprimido?

Muchos medios me ocurren; pero ninguno de tanta facilidad como el siguiente.

Sea hueco y cilíndrico como un tubo el vástago donde están sujetos los émbolos conjugados, y haya en este cilindro-vástago los 15 orificios que la *figura* 562 indica:

$$m m', n n', o o', p p', q q' r r', s s' \text{ y } t.$$

Llamemos á este primer órgano TUBO-VÁSTAGO.

Otro cilindro, con las cavidades y tabiques que señala la *figura* 563, se moverá *à frottement doux*, con rozamiento suave, dentro del anterior TUBO-VÁSTAGO.

Perpendicularmente á este cilindro se hallará implantada la varilla *V*.

Llamemos á este segundo órgano TUBO-VÁLVULAS.

Ahora bien: cuando los émbolos conjugados hayan de subir, en virtud de la potencia del aire comprimido, este TUBO-VÁLVULAS, que juega dentro del TUBO-VÁSTAGO, tomará por un medio cualquiera automático y suficiente la posicion que expresa la *figura* que sigue (564).

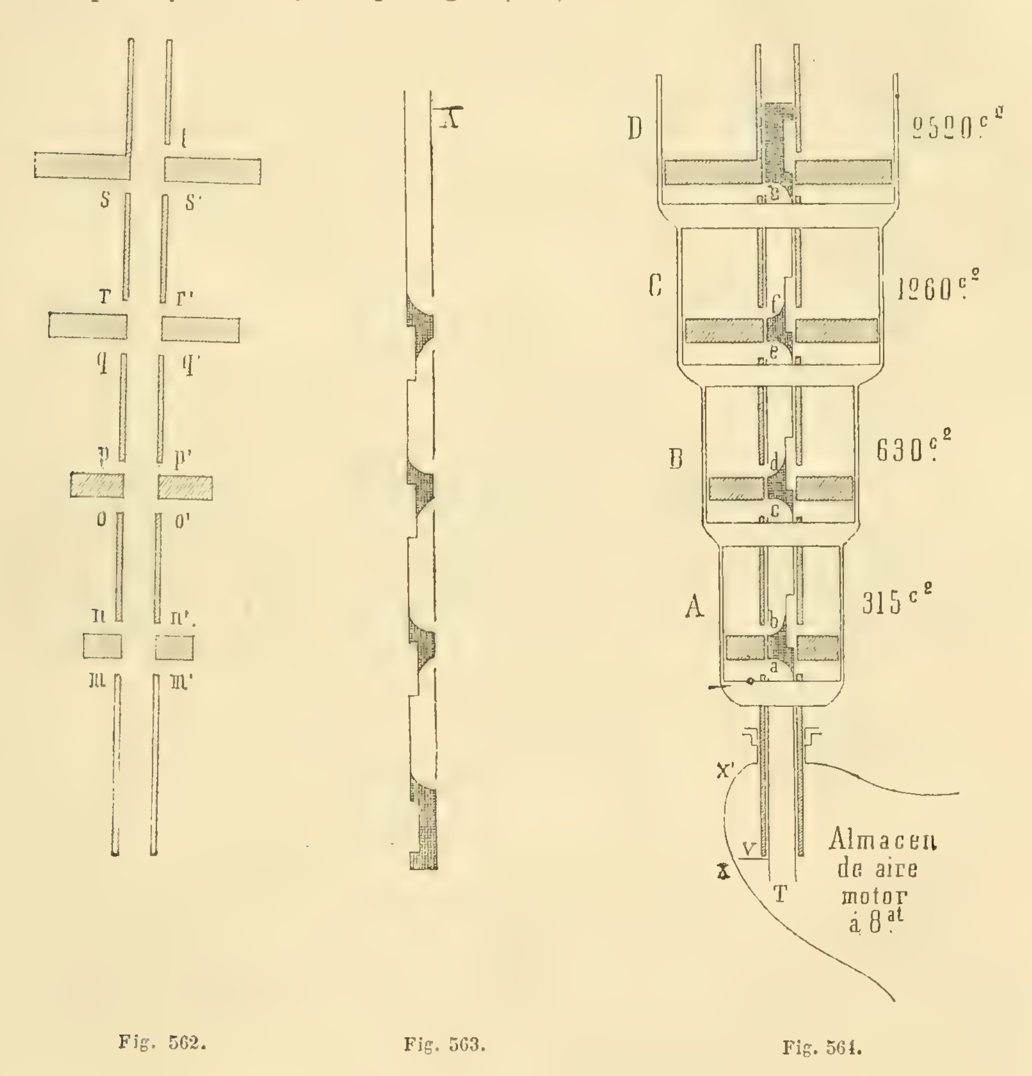



Fig. 562. Fig. 563. Fig. 564.

Y entonces sucederá:

1.° Que el aire del almacen, á $8^{atm}$, entrará por el tubo *T* (capaz de subir y bajar con el tubo-vástago, por estar adherido á él en virtud del rozamiento)

Este aire, á $8^{atm}$, pasará por el orificio *a*, á colocarse bajo el piston menor (el del cilindro *A*), y lo empujará (hácia arriba en la *figura* 564), con la fuerza de

$$315^{mod} \times 8^{atm} = 2520^{k}.$$

Esta fuerza, constante, no hará mas que contrarestar la tambien constante presion atmosférica sobre el émbolo del cilindro mayor *D*. No contemos, pues, con ella.

2.° El aire á $8^{atm}$, existente al empezar la subida sobre el émbolo del cilindro menor *A*, se repartirá entre él y el cilindro inmediato *B*, por los orificios *b* y *c*. Este aire ejercerá su accion contra la corona de 315 módulos (diferencia entre 630 y 315, áreas de los correspondientes émbolos de los cilindros *B* y *A*) con una fuerza, al empezar, de

$$315^{mod} \times 8^{atm} = 2520^{k}$$

Y, al concluir, de

$$315^{mod} \times 4^{atm} = 1260^{k}$$

cuyo promedio es de.................... $\frac{3780}{2} = 1890^{k}$

3.° El aire que, al empezar la subida del sistema, existe á 4 atmósferas sobre el émbolo del cilindro *B*, de $630^{c^2}$ se repartirá entre *B* y el cilindro inmediato *C*, de $1260^{c^2}$, por los orificios *d* y *e*. El fluido ejercerá su accion contra una corona de $630^{mod}$ (diferencia entre las correspondientes superficies *C* y *B* de los émbolos 1260 y 630) con una fuerza al empezar de

$$630^{mod} \times 4^{atm} = 2520^{k}$$

Y, al concluir, de

$$630^{mod} \times 2^{atm} = 1260^{k}$$

cuyo promedio es tambien de............ $1890^{k}$

4.° Por último, el aire que, al empezar el ascenso del vástago conjugador, existia á $2^{atm}$ sobre el émbolo del cilindro *C*, de $1260^{c^2}$, contíguo al mayor *A*, se reparte entre ellos dos, por los orificios *f* y *g*; y por consiguiente, tendremos

Al empezar. $1260^{mod} \times 2^{atm} = 2520^{k}$
Al concluir. $1260 \times 1 = 1260$

Y un promedio, como antes de $1890^{k}$

De donde resulta que el total sistema de estos émbolos diferenciales, CONJUGADOS COMO MOTORES, ascenderá con una fuerza, término medio de

$$1890^k \times 3 = 5670^k.$$

Ahora bien: veamos como los émbolos han de bajar: para que el aire comprimido existente por debajo de cada émbolo pueda ir á colocarse por encima, el tubo-válvulas (que juega con rozamiento suave dentro del tubo-vástago), tomará, por un medio automático, la posicion que indica la *figura* 565, donde vemos que

1.° La comunicacion entre cada dos cilindros contíguos está completamente interrumpida.

2.° Pero la comunicacion entre las 2 caras de cada émbolo dentro de cada cilindro se halla completamente expedita; de manera que nada más fácil de concebir que el tránsito del aire, siguiendo la direccion de las flechas, cuando el sistema conjugado haya de descender en virtud de una fuerza cualquiera suficiente.

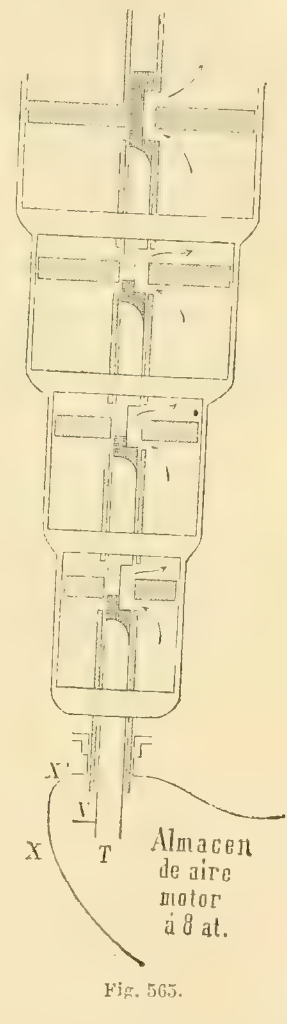
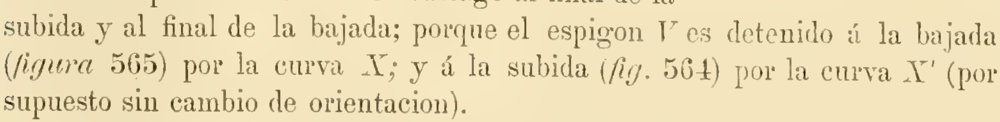


Fig. 565.

Imaginemos ahora que, terminado el descenso de los émbolos, vuelve el cilindro-válvulas á ocupar la posicion primera; y, así sucesivamente, y tendremos lo necesario para aprovechar en teoría y en absoluto la expansion del aire comprimido; ó sea, el medio de utilizar íntegramente toda la fuerza en él almacenada, siempre que nos sea lícito considerar anulada la ley de GAY-LUSSAC.

El aero-motor acabado de describir es de de simple efecto; y, por supuesto, para que no haya parada en el sistema y salgan las válvulas de los puntos muertos, se colocará convenientemente un volante, aun cuando el sistema sea doble, es decir, aunque conste de 2 juegos de cilindros; 4 para cada juego.

El «tubo-válvulas» $T$ sube y baja con el «tubo-vástago,» adherido á él por rozamiento suave. Pero $T$ cambia de posicion dentro del vástago al final de la


subida y al final de la bajada; porque el espigon $V$ es detenido á la bajada (*figura* 565) por la curva $X$; y á la subida (*fig.* 564) por la curva $X'$ (por supuesto sin cambio de orientacion).

De entre muchos otros medios, éste me parece bien sencillo.

# VI.

Entendido lo expuesto ocurre preguntar: ¿no perturbará los cálculos anteriores el hueco de las válvulas?

Indudablemente las cavidades del cilindro-válvulas se llenan de aire á gran tension, cuando, estando abajo los émbolos, las válvulas se sitúan en la posicion que marca la *figura* 564: el aire á 8 atmósferas del cilindro chico tiene que repartirse, no solo entre los espacios de él mismo (cada vez menores á medida que los émbolos ascienden), sino tambien entre los espacios del cilindro inmediato (cada vez mayores mientras más suben los émbolos); y, además, debe completar la presion en el correspondiente hueco del tubo-válvula; porque en ella el fluido se encuentra á la mitad de condensacion (á 4 atmósferas justamente). Una cosa análoga ocurre en los otros cilindros.

Por consiguiente, al empezar, será menor la presion que si no existiese el «cilindro-válvulas,» y solo al finalizar será la misma con él que sin él.

El hueco de las válvulas es, pues, perjudicial, y debe reducirse á un mínimum.

Véanse los estados siguientes.

*Presiones sucesivas del aire comprendido entre 2 émbolos de 315$^{mod}$ el menor y 630 el inmediato, con un cilindro-válvulas de capacidad infinitamente pequeña, y por tanto despreciable.*

Sean 8 las atmósferas al iniciarse el ascenso.
La carrera se divide en 10 períodos.

| Espacios con aire comprimido. Cilindro de 315 mód. | Cilindro de 630 mód. | | Presiones. (1) |
|---|---|---|---|
| $315 \times 9$ | $+ 630 \times 1$ | $= 3465$ | $25200 : 3465 = \frac{80}{11}$ |
| $315 \times 8$ | $+ 630 \times 2$ | $= 3780$ | $25200 : 3780 = \frac{80}{12}$ |
| $315 \times 7$ | $+ 630 \times 3$ | $= 4095$ | $25200 : 4095 = \frac{80}{13}$ |
| $315 \times 6$ | $+ 630 \times 4$ | $= 4410$ | $25200 : 4410 = \frac{80}{14}$ |
| $315 \times 5$ | $+ 630 \times 5$ | $= 4725$ | $25200 : 4725 = \frac{80}{15}$ |
| $315 \times 4$ | $+ 630 \times 6$ | $= 5040$ | $25200 : 5040 = \frac{80}{16}$ |
| $315 \times 3$ | $+ 630 \times 7$ | $= 5355$ | $25200 : 5355 = \frac{80}{17}$ |
| $315 \times 2$ | $+ 630 \times 8$ | $= 5670$ | $25200 : 5670 = \frac{80}{18}$ |
| $315 \times 1$ | $+ 630 \times 9$ | $= 5985$ | $25200 : 5985 = \frac{80}{19}$ |
| $315 \times 0$ | $+ 630 \times 10$ | $= 6300$ | $25200 : 6300 = \frac{80}{20} = 4$ |

(1) $315^{mod} \times 10$ de altura $= 3150\ ^{mod^3}$ que, á $8^{atm}$, representan $25200^{mod^3}$ á $1^{atm}$. (Ley de Mariotte.)

Supongamos ahora un cilindro-válvulas que tenga una capacidad de $315^{mod^3}$ (1).

Supongamos tambien que al iniciarse el ascenso se halle este tubo-válvulas lleno de aire á la presion de $4^{atm}$.

Y tendremos ahora.

| Cilindro de 315 mód. | | Cilindro de 630 mód. | | Cilindro-válvulas. | Presiones. |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | (2) |
| $315 \times 9$ | + | $630 \times 1$ | + | $315 = 3780$ | $26460 : 3780 = \frac{84}{12}$ |
| $315 \times 8$ | + | $630 \times 2$ | + | $315 = 4095$ | $26460 : 4095 = \frac{84}{13}$ |
| $315 \times 7$ | + | $630 \times 3$ | + | $315 = 4410$ | $26460 : 4110 = \frac{84}{14}$ |
| $315 \times 6$ | + | $630 \times 4$ | + | $315 = 4725$ | $26460 : 4725 = \frac{84}{15}$ |
| $315 \times 5$ | + | $630 \times 5$ | + | $315 = 5040$ | $26460 : 5040 = \frac{84}{16}$ |
| $315 \times 4$ | + | $630 \times 6$ | + | $315 = 5355$ | $26460 : 5355 = \frac{84}{17}$ |
| $315 \times 3$ | + | $630 \times 7$ | + | $315 = 5670$ | $26460 : 5670 = \frac{84}{18}$ |
| $315 \times 2$ | + | $630 \times 8$ | + | $315 = 5985$ | $26460 : 5985 = \frac{84}{19}$ |
| $315 \times 1$ | + | $630 \times 9$ | + | $315 = 6300$ | $26460 : 6300 = \frac{84}{20}$ |
| $315 \times 0$ | + | $630 \times 10$ | + | $315 = 6615$ | $26460 : 6615 = \frac{84}{21} = 4^{atm}$ |

(1) Pongo $315^{mod^3}$ solo por facilitar los cálculos.

(2) En estos espacios hay el aire siguiente:

Cilindro menor.... $(315 \times 10) \times 8^{atm} = 25200$
Hueco del cilindro-válvulas $315 \times 4^{atm} = 1260$
} $26460^{mod^3}$ á $1^{atm}$.

| Comparacion. | Diferencias. |
|---|---|
| $\frac{80}{11} = 7,27 > \frac{84}{12} = 7$ | 0,27 |
| $\frac{80}{12} = 6,66 > \frac{84}{13} = 6,46$ | 0,20 |
| $\frac{80}{13} = 6,15 > \frac{84}{14} = 6$ | 0,15 |
| $\frac{80}{14} = 5,71 > \frac{84}{15} = 5,60$ | 0,11 |
| $\frac{80}{15} = 5,33 > \frac{84}{16} = 5,25$ | 0,08 |
| $\frac{80}{16} = 5 > \frac{84}{17} = 4,94$ | 0,06 |
| $\frac{80}{17} = 4,70 > \frac{84}{18} = 4,66$ | 0,04 |
| $\frac{80}{18} = 4,44 > \frac{84}{19} = 4,42$ | 0,02 |
| $\frac{80}{19} = 4,21 > \frac{84}{20} = 4,20$ | 0,01 |
| $\frac{80}{20} = 4 = \frac{84}{21} = 4$ (1) | 0,00 |

## VII.

Con lo dicho basta para hacer comprender cómo podrian oportunamente ponerse en comunicacion y aislarse los émbolos diferenciales funcionando cual órganos motores.

Pero, debiendo adoptarse, CUANDO FALTARA ESPACIO, alguna otra disposicion conveniente, claro es que los medios de comunicacion y de aislamiento habrian de diferir, segun las formas y los organismos que obtuviesen preferencia.

## VIII.

De cualquier modo, aparece claramente que los émbolos conjugados del sistema diferencial pueden fácilmente servir para motores.

---

(1) Antes de CORLISS se perdia en las máquinas de vapor, todo el vapor contenido en el conducto que iba desde la válvula de distribucion hasta el cilindro. Hoy todavía se pierde en las locomotoras, etc. Con los émbolos conjugados aero-motores no se pierde, si bien la presion se rebaja al empezar la carrera. Los resultados de esta comparacion justifican lo dicho en otros lugares. Reducidos á un mínimum los espacios de comunicacion, es sensiblemente exacta la teoría del sistema diferencial, tal como se ha expuesto en esta obra.

Su gran propiedad es la misma que ya les habíamos reconocido como compresores: ¡la de igualar en gran manera los esfuerzos finales con los iniciales!

Una curva muy semejante á un plano descendente representa el proceso de la expansion.

El juego de 4 cilindros estudiado como aero-motor es de simple efecto. Conjugando dos juegos convenientemente no habria huelga; pero ¿podria disponerse con facilidad un juego de cilindros de doble efecto?

¿No sería tal organismo propio para el ahorro de espacio que pretendemos?

## IX.

Desde luego podria, sin grave inconveniente, ahorrarse la mitad de espacio, haciendo de doble efecto los émbolos diferenciales que hubieran de funcionar como aero-motores.

El vástago de los émbolos sería, como antes, un cilindro hueco, con los orificios que marca la *figura* 566 cuando hubiese de funcionar la máquina por la accion del aire comprimido á solo 2 atmósferas.

*a* y *b* se hallan de la parte de acá de la *figura* 566, sobre el plano del papel.

*c* y *d* están de la parte de allá, bajo el plano del mismo papel.

*e* y *f* son orificios laterales, á nuestra derecha, entre los émbolos.

*g* y *h*, orificios laterales, á nuestra izquierda, exteriormente á los mismos, es decir, uno por encima y otro por debajo de los émbolos.

*K* es un segmento de rueda dentada de ángulo, que gira al rededor de un piton *K'*, clavado perpendicularmente al tubo-vástago, pero sin penetrar en su interior.

El TUBO-VÁLVULAS tendria los orificios y tabiques que marca la *figura* 567 (1).

Este tubo de distribucion no podrá avanzar ni retroceder dentro del vástago, en sentido del eje (como antes); pero, sí, será susceptible de girar 90°, con movimiento circular alternativo: es, pues, propio

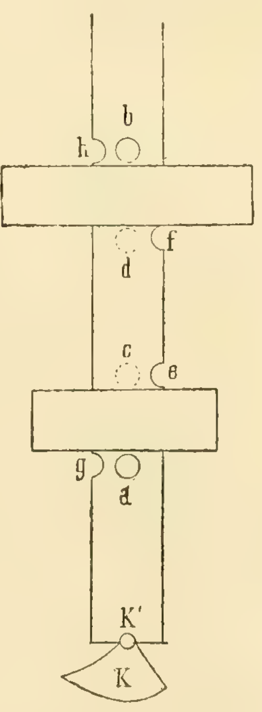


Fig. 566.

(1) Pongo orificios redondos en el vástago y cuadrados en el tubo, solo para poder distinguirlos más fácilmente en las *figuras* 568, 569, 570 *y* 571.

solamente para cambios en la orientacion. Además, el tubo-válvulas comunica con el almacen del aire comprimido, segun simbolizan las *figuras* 570 *y* 571 (ó bien por otros medios, como, por ejemplo, por tubos flexibles ó articulados). *K* (*fig.* 567) es un segmento de piñon, susceptible de engranar con el segmento de rueda del tubo-vástago, como indica la *figura* 568: *t*, *t* son tabiques divisorios (*figs.* 567, 568 *y* 571).

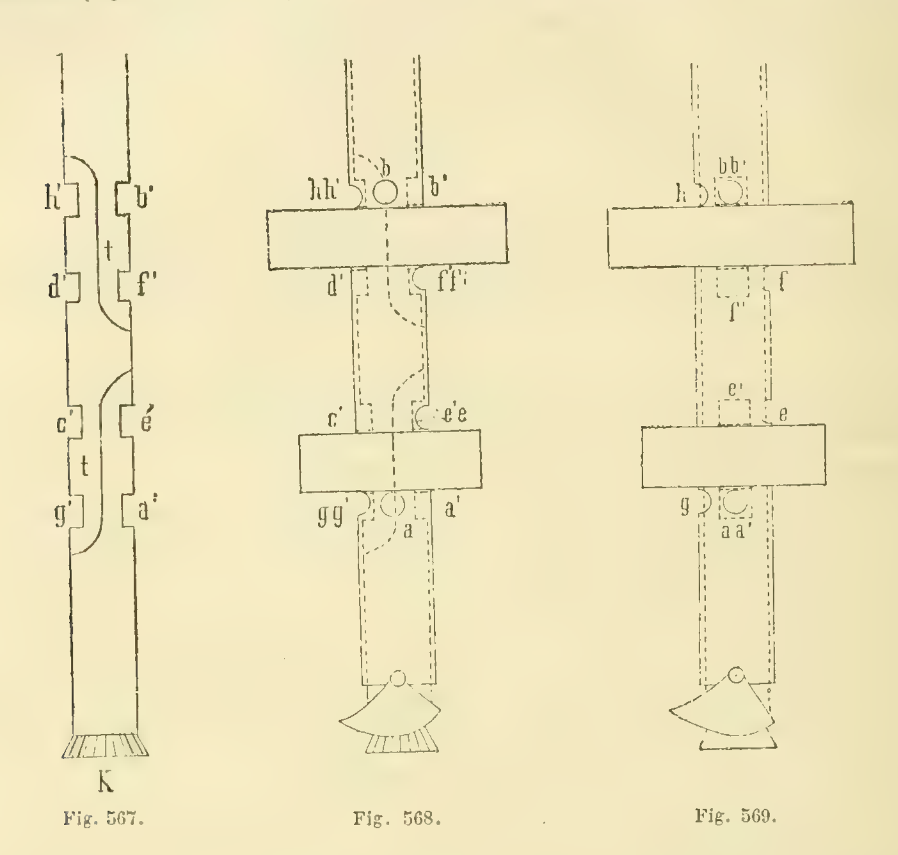


Fig. 567. Fig. 568. Fig. 569.

Introduzcamos el tubo-válvulas dentro del tubo-vástago en una posicion (que llamaremos «1.ª posicion»), en la cual los tabiques son perpendiculares al plano del papel (*fig.* 568).

Y tendremos:

1.° Coincidirán, y entre émbolos, á nuestra derecha, *e'e* y *f' f*.

2.° Coincidirán, á nuestra izquierda, y exteriormente á los émbolos, *g' g* y *h h'*.

3.° Los orificios del tubo-válvulas *a'*, *b'*, indicados á la derecha en el *dibujo*, y los *c'*, *d'*, a la izquierda, se hallan cerrados por el vástago.

4.° Los orificios *a* y *b* del tubo-vástago, situados por encima del plano del papel, y los *c* y *d*, no dibujados, pero que hay que imaginar por debajo del mismo plano, se hallan tapados por el tubo interior de distribucion, ó sea el de las válvulas.

2.ª posicion (*fig.* 569). Permanezca siempre invariable la orientacion del vástago y de los émbolos. Concibamos solamente susceptible de giro al tubo-válvulas, y, entendido esto, hagamos girar 90° hácia nuestra izquierda, ó sea contrariamente al movimiento de las agujas de un reloj, dicho tubo interno de las válvulas; y entonces llegaremos á una «2.ª posicion,» en que la parte plana de los tabiques será paralela al plano del papel, y *a'*, *e'*, *f'* y *b'* estarán por encima del plano del papel, y *g'*, *c'*, *d'* y *h'* por debajo.

1.° Coincidirán (por encima del papel) *a* con *a'* y *b* con *b'*.

2.° Tambien coincidirán (por debajo del plano del papel) *c* con *c'* y *d* con *d'* (no está representada en el *dibujo* esta coincidencia: imagínela el lector).

3.° El vástago interceptará los orificios del tubo-válvulas *e'* y *f'* dibujados é indicados por puntos, y los *g'*, *h'*, no indicados. Imagínense.

4.° Los orificios del vástago *e*, *f*, *g*, *h* estarán tapados por el tubo interno de distribucion.

Y si despues, continuando siempre invariable la orientacion del vástago, gira 90° el tubo de las válvulas, solamente en el sentido de las agujas de un reloj, ó sea hácia nuestra derecha, nos encontraremos nuevamente en la 1.ª posicion, etc., etc.

Coloquemos todo el sistema de vástago y válvulas en esta 2.ª posicion dentro de los 2 cilindros conjugados diferencialmente, y tendremos lo que sigue (*fig.* 570):

1.° El aire del almacen, á $2^{atm}$, entrará en el cilindro-válvulas; pasará por el orificio *a'*, que coincide con el *a* del vástago; se esparcirá en el espacio *m n*; y empujará hácia arriba el émbolo menor.

2.° El aire (á $2^{atm}$; procedente del viaje anterior) que se halla en *m' n'*, pasa, desde el cilindro menor, por el orificio *c* del vástago al *c'* del tubo de distribucion (todo por debajo del plano del papel); camina por dentro del tubo; sale por debajo del papel por los orificios *d' d*, y se dilata por el espacio *m'' n''*, empujando el piston hácia arriba; porque todas las presiones se destruyen, exceptuando las correspondientes á la corona *z z*.

3.° El aire, á una atmósfera, existente en *m''' n'''*, sale á la atmósfera ambiente por los orificios *b b'*, coincidentes en esta 2.ª posicion.

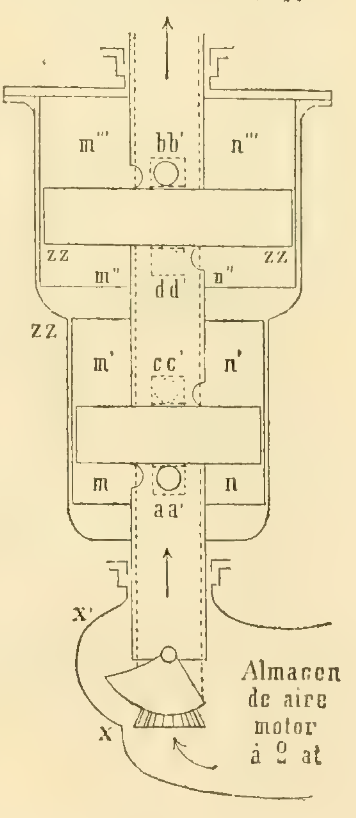


Fig. 570.

Llegados los émbolos á lo más alto de su viaje, gira rápidamente 90° hácia la derecha, el tubo-válvulas dentro del no giratorio vástago, con lo cual cambia el sentido de la alimentacion y de la expansion.

Y tendremos en esta posicion (*fig.* 571) que

1.° El aire del almacen, á $2^{atm}$, pasa ahora, por los orificios *e' e*, al espacio *r s*, y empuja hácia abajo el émbolo menor.

2.° El aire en *r' s'* (á $2^{atm}$, procedente de la ascension anterior á presion plena), atraviesa los orificios *g g'*; pasa por el interior del tubo-válvulas; y entra por *h' h* á esparcirse por la capacidad *r'' s''*, contribuyendo al descenso del sistema, puesto que resultan destruidas todas las presiones, excepto sobre la corona *z z*.

3.° El gas, á $1^{atm}$, existente en *r''' s'''* se escapa por *f f'* al aire libre,



Fig. 571.

Cuando los émbolos han llegado á lo más bajo de su carrera un veloz giro, hácia la izquierda, efectuado por el tubo-válvulas, y de la amplitud de 90°, hace volver todo á la posicion inicial; y....., etc.

Excusado me parece decir que los orificios dibujados son puramente simbólicos: su lugar más adecuado sería en el espesor mismo de los émbolos, los espacios perjudiciales habrian de reducirse á un mínimum, y.....

El giro de 90°, alternativo, podria verificarse con suma sencillez del modo siguiente:

El fragmento de rueda de ángulo sería detenido, al subir, por la curva *x'* (*fig.* 570), con lo que, girando á la derecha el piñon, se pondria el tubo-válvulas en la posicion primera.

Y al fin de la bajada (*fig.* 571) detendria al sector la curva *x;* el piñon giraría hácia la izquierda, y el sistema entraría en la posicion segunda.

Un volante regularizaría el movimiento de subida y bajada de los émbolos; sacaría de los puntos muertos al vástago; y....., etc.

## X.

Entendido el modo de hacer de doble efecto 2 cilindros conjugados que se hubiesen de mover por la fuerza almacenada en aire comprimido, á solo $2^{atm}$, muy fácil será generalizar el método para cualquier número de cilindros diferenciales obedientes á la ley logarítmica.

Las siguientes *figuras* (572, *á* 576) casi lo evidencian sin necesidad de explanaciones; pero, para entender su modo de funcionar, concíbase:

1.° Incapaz de cambiar de orientacion al tubo-vástago *fig*. 574.

2.° Capaz de girar 180° alternativamente *dextrorsum* y *sinistrorsum* dentro del tubo-vástago al tubo-válvulas *figs*. 572 *y* 573.

(El mecanismo, capaz de hacer girar alternativamente 180° al tubo-válvulas dentro del tubo-vástago, no está indicado en las figuras; supóngalo el lector).

Esta disposicion, como se ve, es solo una variante de la anterior.

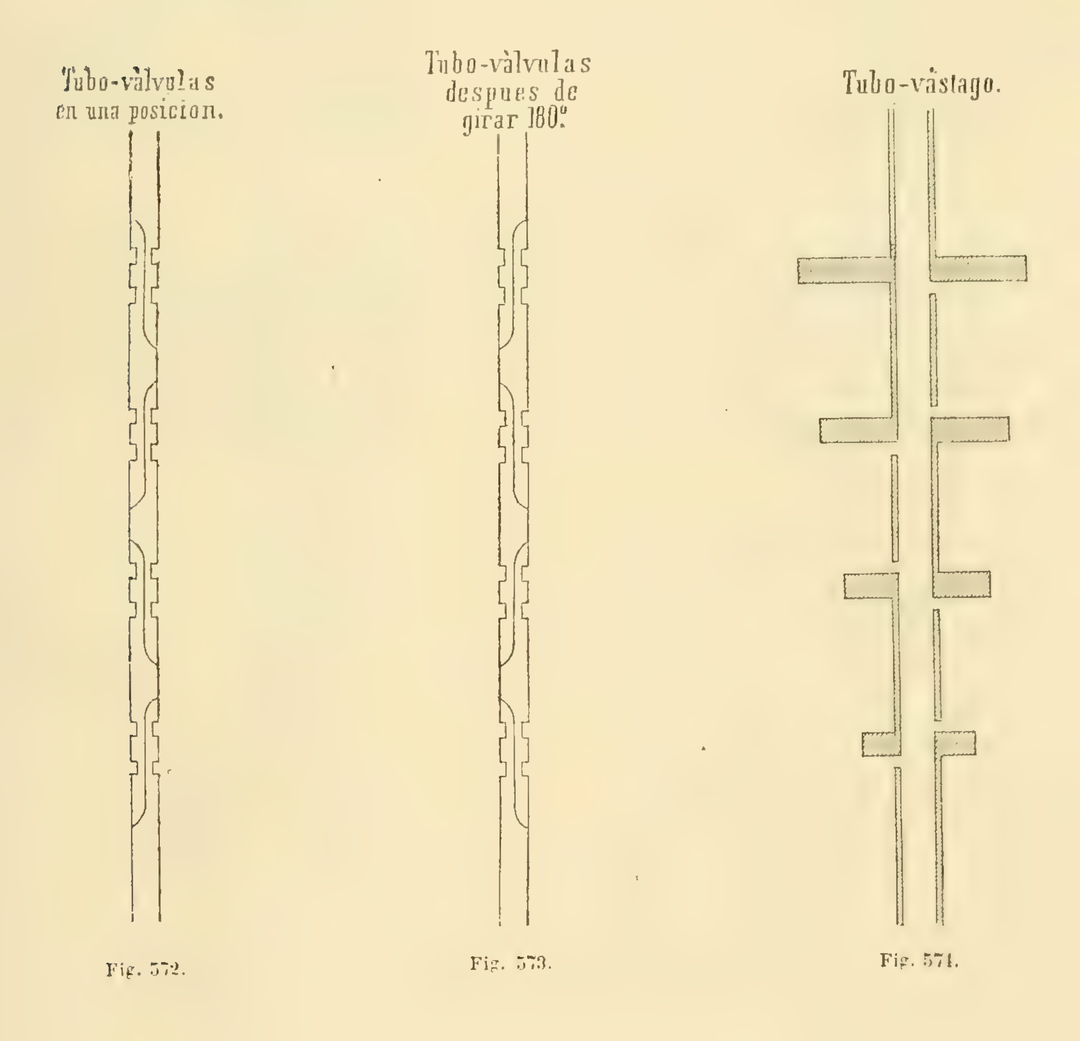



Fig. 572. Fig. 573. Fig. 574.

Todo depende de la forma del cilindro-válvulas; esto es, de la posicion de sus orificios, y situacion de sus tabiques divisorios, con respecto á los del tubo-vástago. Las *figuras* 572 *y* 573 representan al tubo de las válvulas en sus dos posiciones diametralmente opuestas; la *figura* 574 simboliza al tubo-vástago en su posicion invariable.

Estas formas determinan y definen la posicion correlativa de los orificios; y, por tanto, la distribucion del fluido motor y el consiguiente juego de los émbolos.

Las *figuras* 575 *y* 576 manifiestan la alimentacion de 4 cilindros conjugados aero-motores de doble efecto que utilicen la fuerza almacenada en aire comprimido hasta la tension de $8^{atm}$.

El tubo-válvulas ha girado 180° en la una hácia la izquierda, y despues 180° hácia la derecha en la otra, y así sucesiva y contínuamente.

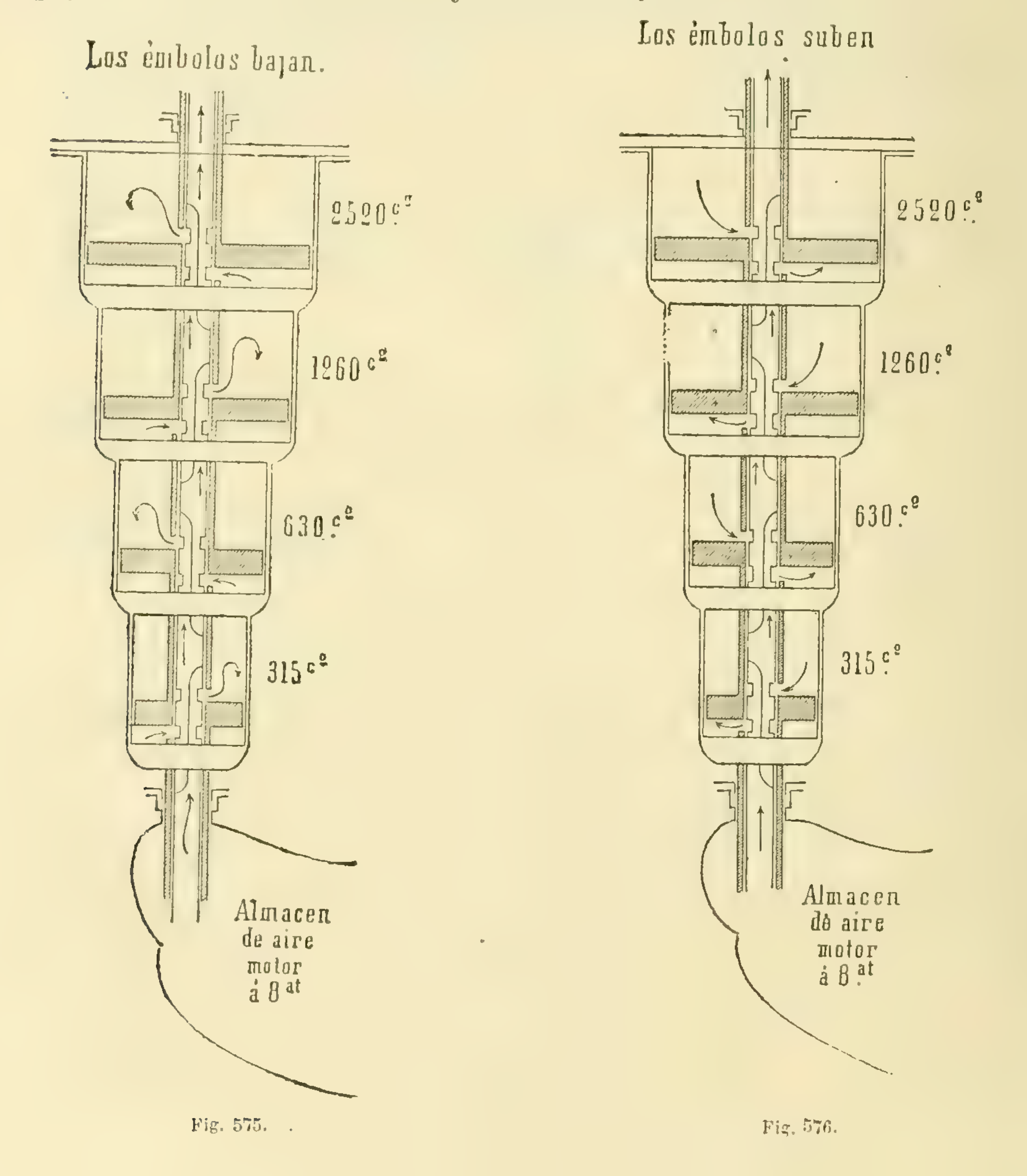



Fig. 575. Fig. 576.

Para subir han de estar en comunicacion las caras contíguas de cada dos émbolos contíguos;

Y, para bajar, las más distantes de cada dos contíguos.

Por supuesto no es de necesidad que el giro de las válvulas de distribucion sea precisamente de 180°; puede ser de ménos grados.

Son, pues, dos los sistemas que presento de alimentacion y distribucion por el interior de los cilindros; y se diferencian, en que, en el primero, el tubo de las válvulas avanza y retrocede paralelamente respecto del eje-vástago, sin cambiar de orientacion;

Y, en las dos variantes del segundo, las válvulas cambian de orientacion, sin avanzar ni retroceder en sentido longitudinal.

## XI.

Como se ve, la alimentacion y evacuacion por el interior del vástago, es eminentemente aplicable á todo motor en que funcione á presion plena el cilindro menor, así sea de aire como de vapor.

## XII.

El buen ajuste del tubo-válvulas contra el cilindro-vástago se obtendria fácilmente por medio de cueros embutidos ó de anillos metálicos....., etc.

La regularidad de la marcha se aseguraría con volantes. Habria llaves de purga, lubricadores y demás accesorios. Imagínense.

# APÉNDICE AL CAPÍTULO III.

## LA MÁQUINA DE AIRE COMPRIMIDO RESPECTO DE LA DE VAPOR.

### I.

Me parece que tanto las teorías como las ventajas de los émbolos conjugados geométricamente pueden evidenciarse comparándolos, como aero-motores, con las máquinas de vapor; comparacion tanto más fructuosa, cuanto que, acaso, pueda llevar nuevas ideas á la industria de la utilizacion del vapor.

Que yo sepa, ningun sistema rigorosamente diferencial, se ha ensayado para comprimir gases; pero indudablemente se han experimentado varios en gran escala con las máquinas de vapor, si bien nunca logarítmicamente, ni en más de 2 cilindros conjugados.

En 1781, un ingeniero llamado HORNBLOWER, propuso el empleo de la expansion por medio de 2 cilindros. Pero los privilegios obtenidos por WATT y sus consocios no permitieron á HORNBLOWER experimentar su idea. En 1801 (23 años despues) logró WOOLF realizar, en la máquina que lleva su nombre, el aprovechamiento de la expansion por medio de sus 2 cilindros.

Como se sabe, el vapor trabajaba á presion plena en el cilindro menor; y, finalizado el viaje del piston, pasaba el vapor al cilindro mayor, donde funcionaba diferencialmente, por expansion.

Los conductos estaban dispuestos de tal modo que la parte inferior de cada cilindro comunicaba con la superior del otro, y viceversa (1).

Diferencial es tambien la máquina de vapor JÆGERFELT (de Niköping, Suecia) (*fig.* 577).

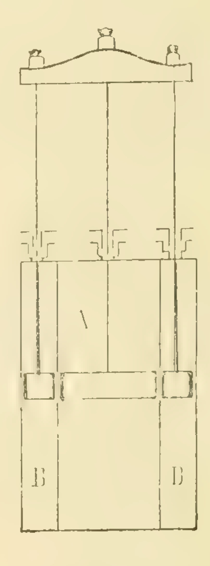



Fig. 577.

Consta de un cilindro interior *A* para la plena presion, y de un espacio anular para la expansion. Válvulas, convenientemente dispuestas, dirigen el vapor por adecuados tu-

(1) Es muy raro lo que pasa en la invencion. Muchos años hacia que tenia yo imaginados los émbolos diferenciales sin haber advertido que la máquina WOOLF, cuando el cilindro menor trabaja á presion plena, es un perfecto aparato diferencial. ¿Dependería esto de la no identidad de forma de esa máquina con la de mis émbolos diferenciales?

Solo eché de ver que la máquina de WOOLF era diferencial cuando tuve noticia de la de JÆGERFELT.

Recuerdo haber leido que el aire está cargado de indicaciones de lo nuevo, y que en el estudio de las cosas comunes hay gérmenes fecundos de invenciones no sospechadas. ¿Cómo es que no se ven por todo el mundo? ¿Cómo se repite el hecho increible de que las cosas no se ocurran más que á uno, cuando miles y miles las están mirando? (Véase pág. 776.)

bos. El vapor que á presion plena en la parte superior de *A* hizo bajar el piston central, pasa luego por expansion á la parte inferior de la galería cilíndrica *B*, y etc. Parece que esta máquina funciona bien (1).

Las diversas y más modernas máquinas COMPOUND son esencialmente diferenciales. Tienen 2 cilindros desiguales: el vapor, despues de haber trabajado en el cilindro de menor diámetro, pasa sin pérdida de presion á un depósito, generalmente recalentado, y despues se dirige al cilindro mayor, donde trabaja por expansion.....

Pero, aunque se titule diferencial, no lo es otra máquina introducida por CARLSUND en Suecia, donde ha sido muy estimada, y donde se la mira aún (ó se la miraba por lo ménos hace pocos años) como la más propia para los buques cañoneros (*fig.* 578).

El vapor entra en el espacio anular *B*, y hace bajar á presion plena el piston anular; y, despues de hacerlo llegar al fondo, obliga á subir por expansion el piston circular completo *C*.

Tengo entendido que la capacidad *A*, donde juega la biela, está por completo llena de aceite, el cual poco á poco se calienta, y al cabo contiene la irradiacion. El peso del aceite, que, al subir, absorbe cierta cantidad de trabajo, la restituye al bajar (2).

Tampoco es diferencial la preciosa máquina oscilante de FOURNIER ET LEVET, *Saone et*

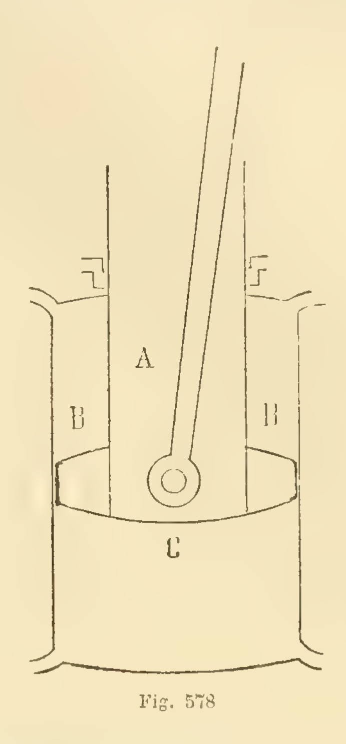



Fig. 578

*Loire*, algo semejante en su montaje á la de SMITH, del croquis pág. 668.

## II.

Inclínome á creer que ni WOOLF (3) ni JEGERFELT, ni FOURNIER, ni los inventores de los sistemas COMPOUND, pensaron nunca en el sistema logarítmico, único en el que (como ideal acaso) puede esperarse expansion absoluta. A mi juicio esos insignes inventores vieron que, despues de trabajar á presion plena, quedaba todavía remanente gran fuerza en el vapor, y quisieron utilizarla, como lo ha hecho CARLSUND. Esto solo me parece que basta para explicar el orígen de sus mecanísmos, y sus formas, y tanteos, y proporciones (empíricas casi).

A pesar de sus aparentes ventajas teóricas, la máquina de WOOLF no logró generalizarse, exceptuando algunos distritos mineros, donde se la utilizó para grandes achicamientos de agua por medio de enormes bombas.

El poco éxito de muchos ensayos se atribuyó á la irradiacion de un modo exclusivo.

---

(1) Véase el preciosísimo libro de NYSTROM. *Pocketbook of mechanics and engineering*. Philadelphia.

(2) Como se ve, esta máquina es la de HURCOURT con funciones invertidas. (Véase pág. 343.)

(3) En la discusion sobre el sistema WOOLF ha de entenderse que lo referente á él, puede aplicarse *mutatis mutandis* á los otros mecanismos más modernos, como los hay, con razon tan en boga, conocidos con el nombre de COMPOUND. L. POILLOU, hablando de las COMPOUND presentadas en la última Exposicion universal, dice: «Casi todas (el autor exceptúa con muchísima razon la de DEMENGE), casi todas funcionan aún como las antiguas de WOOLF, sin depósito intermedio, con grandes espacios perjudiciales, y *descenso notable* de presion al principio del período de evacuacion del cilindro menor.»

Naturalmente, dada la gran superficie del cilindro mayor de Woolf, la disipacion de calor habia de ser muy considerable.

Sin embargo, tengo para mí que se hizo mal en atribuir á la irradiacion toda la falta. Por grande que quiera suponerse la disipacion de calor por este concepto, la pérdida principal está, á mi parecer, en el gran descenso de la temperatura del vápor al dilatarse en el cilindro mayor; ó, lo que es lo mismo, en la importante modificacion que, entonces, introduce en la ley de Mariotte la ley de Gay-Lussac. Y hé aquí por qué, principalmente, resultaron fallidas las grandes esperanzas que hizo concebir la máquina de Woolf; pues, si bien cada dia se impidió mejor la irradiacion, siempre las dimensiones y la teoría se calcularon llevando solo en cuenta las leyes de Mariotte y las de la irradiacion, pero sin tener presente, cual se debia, toda la importancia de la ley de Gay-Lussac; omision por demás excusable á principios de este siglo; pues, entonces solo el gran Rumford profesaba, que producir movimiento era equivalente de gastar temperatura. Entonces nadie creia en la còrrelacion de las fuerzas, ni se concebia siquiera que el termómetro y el dinanómetro median manifestaciones diferentes de un mismo fenómeno.

Me encuentro que las tablas de expansion para la máquina de Woolf están calculadas únicamente con arreglo á la ley de Mariotte: ¿qué mucho que, sujetas á la práctica, resultasen deficientes en todo lo que correspondia á la no llevada en cuenta ley de Gay-Lussac? Pero, para mí, si por una enérgica pulverizacion de agua caliente, ó una inyeccion de vapor recalentado á muchos grados más sobre la temperatura de la expansion, se restituyese al vapor la temperatura consumida en su dilatacion, entonces la máquina de Woolf, ejecutada conforme á los adelantos modernos, corresponderia á las ventajas que en 1804 hizo esperar de la expansion, y solo realizadas en una fraccion que en muchos casos no pagaba el mayor costo inicial.

## III.

El proceso de la expansion del vapor no es el mismo en el sistema de un solo cilindro que el del aire en el de los émbolos conjugados, y no hay nada que lo haga entrar tan patentemente por los sentidos como la comparacion de los diagramas respectivos. Conocidos los de nuestros émbolos conjugados, oportunamente insertos en esta obra, solo queda tener á la vista los de la expansion del vapor.

Sabido es que la expansion produce una importante economía de combustible; pero que disminuye el poder de la máquina, al propio tiempo que acrecienta la utilizacion del vapor.

Por consiguiente, para realizar el mismo trabajo se necesita un cilindro de más base.

Si se interrumpe la entrada del vapor en el cilindro á la mitad del viaje del piston, es claro que se gastará la mitad del vapor consumible á presion plena. Pero no es tan claro que todavía puede, por expansion, efectuar el vapor una gran suma de trabajo. Si la expansion fuese de $\frac{1}{4}$, es decir, si á la cuarta parte del viaje del vástago se interceptase la comunicacion entre el cilindro y el generador, podria el vapor ejecutar por su expansion más de otro tanto del trabajo realizado á presion plena.

Por muy sabido que esto sea, pongamos algun ejemplo.

Y esto confirmará lo dicho anteriormente respecto de los émbolos conjugados.

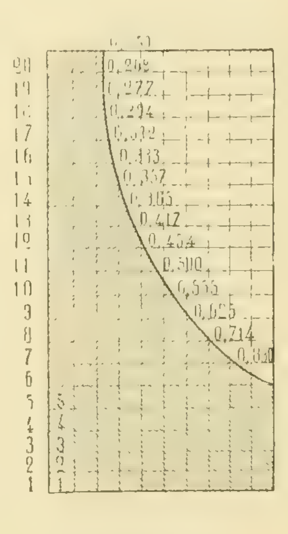



Fig. 579.

Sea un cilindro de una máquina de vapor en que se ha hecho el vacío y cuya altura esté dividida en 20 partes iguales. *(fig.* 579.)

Dejemos entrar vapor por abajo á $1^{atm}$ hasta que el piston llegue á la tonga 5.ª, y entonces interceptemos la comunicacion con la caldera.

El vapor, por su fuerza elástica, seguirá elevando el piston; y, conforme á la tantas veces enunciada ley fundamental de la Pneumática, que lleva el nombre de MARIOTTE, irán las presiones decreciendo segun vayan aumentando los espacios; por manera que, cuando el piston llegue á la zona 10.ª, será de $\frac{1}{2}$ atmósfera la presion del vapor; y, cuando toque en la 20.ª, será solamente de $\frac{1}{4}$ de atmósfera. Las presiones intermedias están indicadas en el diagrama por la superficie exterior á la rama de hipérbola, y la suma, en el caso actual, asciende á 69.

El vapor, por consiguiente, nos da estos resultados:

1.ᵉʳ período: á presion plena; $5 \times 10^{c^2} = 50$
2.º período: por expansion.......... = 69

Una potencia, pues, tal como 50, se ha obtenido llenando de vapor la 4.ª parte del cilindro; y una fuerza tal como 69 se ha aprovechado sin ningun nuevo gasto de fluido, permitiendo meramente al vapor, ya utilizado, su expansion en un espacio 4 veces mayor.

Así, en una máquina expansiva, la utilizacion del vapor es aumentada, pero la potencia del piston es disminuida; por lo que, para un determinado efecto, el cilindro tiene que aumentar el área de su base, ó el movimiento del piston tiene que ser más rápido; y esto en la proporcion misma en que se verifica la expansion, si queremos que la obra ejecutada sea la misma con expansion ó sin ella (1).

Pero la expansion, á ménos de ser muy considerable la tension del vapor en la caldera, no puede utilizarse prácticamente (2) más allá de los $\frac{7}{8}$ de la carrera del piston, á causa del desmesurado tamaño del cilindro, ó de la gran velocidad del piston y sus rozamientos, y de la resistencia misma del vapor en el condensador, cosas todas que se hacen relativamente mayores para una presion realmente menor.

Así es que solo con grandísimas precauciones puede obtenerse una verdadera y real economía por el uso de la expansion en gran escala. Es necesario que el cilindro esté rodeado de una camisa de vapor, ó bien hay que protegerlo eficacísimamente del enfriamiento por algunos otros medios; y, tanto, que en máquinas no resguardadas del enfriamiento se ha encontrado, experimentalmente, ahorro de combustible trabajando á presion plena; porque todo el beneficio de la expansion, y algo más todavía, no bastaba á balancear el enfriamiento natural en un cilindro de enorme superficie para que igualase en potencia á un cilindro menor trabajando á presion plena.

Los beneficios de la expansion se reducen tambien notablemente cuando la máquina carece de condensador; porque el vapor, además de todas las resistencias del mecanismo, tiene que vencer la de la atmósfera, igual á $1^k$ por módulo kilogramétrico.

Así es que los resultados de un diagrama, formado en la hipótesis (no práctica) de existir un vacío perfecto en el condensador, se aminoran para una máquina de alta presion sin condensador.

Véase el nuevo diagrama para una expansion de 8 atmósferas en un cilindro de 8 módulos de base. *(fig.* 580.)

(1)

| Fraccion de la carrera del piston al interceptarse la comunicacion entre la caldera y el cilindro. | Trabajo obtenido. |
|---|---|
| 1................ | 1000 |
| 0,9................ | 1,105 |
| 0,8................ | 1,223 |
| 0,7................ | 1,357 |
| 0,6................ | 1,509 |
| 0,5................ | 1,693 |
| 0,4................ | 1,916 |
| 0,3................ | 2,204 |
| 0,2................ | 2,609 |
| 0,1................ | 3,302 |

Excusado parece advertir que estos resultados se refieren á la hipótesis de existir un vacío perfecto del lado del piston sobre que no actúa el vapor (lo que es inadmisible).

(2) En algunas de las admirables máquinas de CORNUALLES se trabaja interceptando el vapor á $\frac{1}{12}$ de la carrera del piston.

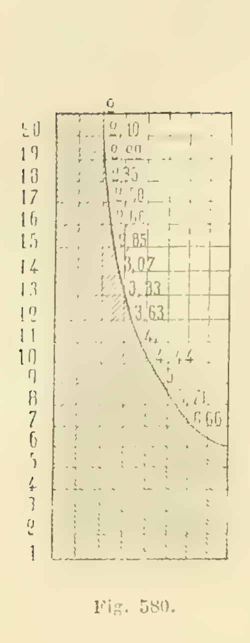



Fig. 580.

| A presion plena. | Con expansion. |
|---|---|
| 8 × 7 = 56 | |
| 8 × 7 = 56 | |
| 8 × 7 = 56 | |
| 8 × 7 = 56 | |
| 8 × 7 = 56 | |
| | 8 × 5,66 = 45,28 |
| | 8 × 4,71 = 37,68 |
| | 8 × 4 = 32 |
| | 8 × 3,44 = 27,52 |
| | 8 × 3 = 24 |
| | 8 × 2,63 = 21,04 |
| | 8 × 2,36 = 18,64 |
| | 8 × 2,07 = 16,56 |
| | 8 × 1,85 = 14,80 |
| | 8 × 1,66 = 13,28 |
| | 8 × 1,50 = 12 |
| | 8 × 1,35 = 10,80 |
| | 8 × 1,22 = 9,76 |
| | 8 × 1,10 = 8,80 |
| | 8 × 1 = 8 |
| 280 | 300,16 |

Trabajo total, 280 + 300,16 = 580,16.

Para comprender la curva anterior solo debe recordarse que las presiones son inversas de los espacios; por consiguiente:

Espacio ocupado por el vapor á presion plena........... $= 8 \times 5 = 40$

Espacio ocupado por la misma cantidad de vapor cuando el émbolo llega á la tonga 6.ª.................... $= 8 \times 6 = 48$

Luego la presion en la zona 6.ª será inversa de los espacios, y por consiguiente

$$= \frac{40}{48} = \frac{5}{6} \text{ de 8 atmósferas} = 6{,}66$$

De esta presion hay que descontar la atmosférica: por tanto, como el piston tiene, por hipótesis 8 módulos kilogramétricos, resultará que la fuerza del piston, al terminar la zona 6.ª, será

$$= 8^{\text{mod}} \times (6^{\text{atm}},66 - 1) = 45^{\text{k}},28.$$

Análogamente se calculará la fuerza del piston al fin de las demás zonas del cilindro.

Con condensador, y en la hipótesis de un vacío perfecto, obtuvimos, segun el primer

diagrama, $\frac{69}{50} = 1{,}38;$

Ahora sin condensador, $\frac{300}{280} = 1{,}07;$

El trabajo total:

En el 1.er caso. $= 1 + 1{,}38 = 2{,}38;$

En el 2.º...... $= 1 + 1{,}07 = 2{,}07.$

## IV.

Los diagramas patentizan las diferencias entre la expansion monocilíndrica y la policilíndrica diferencial (véanse los diagramas página 337): los resultados son inferiores en mucho á los de los émbolos diferenciales usados como motores.

Y la razon es muy clara, especialmente en el caso de la máquina de alta presion: el vapor está todavía á 2 atmósferas (en el caso anterior) cuando el piston llega al fondo del cilindro. Se escapa, pues, al aire libre con una gran fuerza remanente, que es perdida

Lo mismo pasa en el caso del condensador.

Pero con émbolos diferenciales no se le dejaría salir en el caso de trabajar á alta presion, sino cuando la tension solo fuera de 1 atmósfera, igual á la ambiente (ó á poco más). Los émbolos conjugados acaban en una presion cero, ó sea la de la atmósfera, y los del vapor siempre en una cantidad finita.

Se ve, pues, clarísimamente que la expansion del vapor se utilizará bastante mejor que por el sistema monocilíndrico haciendo uso de émbolos conjugados diferencialmente. De aquí el éxito de los sistemas COMPOUND modernos, que, aunque no rigorosamente logarítmicos, son siempre diferenciales.

## V.

Solo queda la gran dificultad del enfriamiento; y, aunque excusado es decir que, para obtener estos preciosos resultados, sería menester envolver perfectamente en vapor los cilindros conjugados, ó libertarlos de la irradiacion de algun modo eficaz, ¡eficacísimo! sin embargo, por hábilmente que se procediera, jamás se llegaria con el vapor á los resultados teóricos calculados para el aire comprimido, trabajando con lentitud y pulverizacion calefaciente.

Y tambien la razon es muy sencilla. Cuando el calor se transforma en movimiento, las moléculas se apartan; ó, lo que es lo mismo, se enfrian, al modo con que un grave solo produce movimiento cuando baja.

Y así como únicamente con el aire comprimido pueden ser una realidad los beneficios teóricos cuando, por medio de una vigorosa inyeccion de agua pulverizada, unida á los demás medios calefacientes, se reemplaza en el aire que se dilata el calor consumido en la expansion.....; del propio modo considero, que cuando, haya de utilizarse la expansion del vapor en cilindros diferenciales (porque solo en ellos la expansion puede ser absoluta) será indispensable, como antes he apuntado, devolver al vapor el calor consumido en su dilatacion (ese y no más), inyectando, al efecto, en los cilindros diferenciales, un chorro de vapor á una elevada temperatura, por ejemplo, de 180° (la cual corresponde á una tension de 10 atmósferas). No creo necesario decir que el vapor destinado á esta inyeccion calefaciente, ó el agua recalentada y en inyeccion pulveriforme, sería elevada hasta esa temperatura en una pequeñita caldera auxiliar, independiente en todo caso de la genedora principal del vapor. Y para la inyeccion no se necesitaría bomba ninguna, por ser más que suficiente la tension del vapor á 10 atmósferas de la caldera inyectante, respecto de las tensiones comunes hoy en la práctica (ó en todo caso otra tension muy superior á la de los cilindros diferenciales).

Por tanto, el no completo éxito de las tentativas de WOOLF dependió, á mi entender, principalmente del olvido de la ley de GAY-LUSSAC, consecuencia ineludible del fenómeno de separacion de las moléculas de un gas caliente al dilatarse.

Restituido ese calor á la masa gaseosa por una caldera suplementaria, los aparatos diferenciales me parecen de un éxito seguro, y, en tal sentido, considero aplicables al vapor muchas de las formas estudiadas para los émbolos conjugados, invirtiendo naturalmente sus funciones.

Hay aquí, por tanto, en mi opinion, una region vastísima que explorar, merecedora de las especulaciones delicadas de los hombres de la Industria; pues lo dicho para el aire es en grándísima manera aplicable á cualquier otro fluido aeriforme, capaz de dilatarse indefinidamente. SEMPRE HO IO IN MENTE MENO DI PERSUADERE CHE DI FAR PENSARE. Y hoy, que están tan en boga las máquinas COMPOUND, me parece digno de aplicacion á ellas algo de los principios que sirven de base á la teoría de los émbolos logarítmicos, y algo de la idea de restituir el calor perdido en la expansion por medio de una vigorosa pulverizacion de agua á presion altísima, ó una inyeccion análoga de vapor recalentado.

Y, á no haber carecido yo de medios, ya habria interrogado á la experiencia.

## VI.

La propiedad que tienen los émbolos conjugados de presentar mayores superficies á la accion del aire comprimido (ó del vapor) á medida que se dilata, puede utilizarse en aparatos rotatorios, cuya descripcion naturalmente hallará cabida en el *Apéndice* al capítulo que sigue.

## VII.

George Kingdon, de Kinswear, en Inglaterra, ha inventado una máquina de vapor, sistema Compound, la cual consta de 2 cilindros, superpuestos y de diferentes diámetros; lo que le da el aspecto de algunos aparatos de esta obra.

Pero la alimentacion se hace por el exterior de los cilindros, en lo cual difiere esencialmente de las indicadas en las *figuras* descritas págs. 756 á 768, cuya alimentacion se hace por el interior del vástago hueco, sea el que fuere el número de los cilindros conjugados.

Lo que me admira, no es que haya alguna que otra vez coincidencias entre inventores que trabajan independientemente unos de otros: lo que es para pasmar á cualquiera que piense profundamente en el asunto, es que esas coincidencias no ocurran á cada paso, toda vez que muchas personalidades se proponen idénticos problemas.

Cuando leo alguno de los pocos periódicos científicos que me es dado estudiar, siempre me hago esta pregunta: «¿Vendrá ya aquí alguna solucion idéntica á las mias, respecto de la utilizacion de la fuerza del mar y á su transformacion y utilizacion en aire comprimido?»

# CAPITULO IV.

## LOS FOROS COMO AERO-MOTORES. PRODUCCION DIRECTA DEL MOVIMIENTO CIRCULAR CONTINUO.

---

### I.

Los foros, y especialmente los celulares, solos ó conjugados, pueden servir de excelentes aero-motores, produciendo directamente el movimiento circular continuo.

Supongamos que, por medios cualesquiera, exista almacenado en grandes cantidades el aire á la presion de 2 atmósferas.

Imaginemos ahora un foro celular, cuya diferencia de niveles sea igual á $1^{atm}$ ($10^{m}$, por ejemplo, con agua del mar: $0^{m},76$ con mercurio; $5^{m}$ con cloruro de zinc, etc.).

Supongamos, además, que, cuando está cerca de la horizontal el tabique *a b* de la celda inferior (*fig.* 581), entra en ella (y en ella solamente), desde el inte-

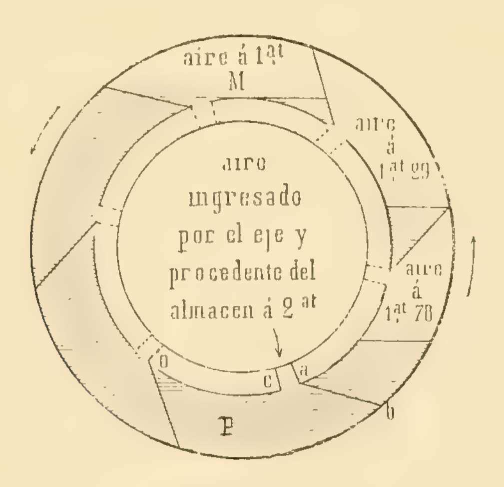



Fig. 581.

rior del aparato, aire á la presion de $2^{atm}$, tomado por el eje á la gran canalizacion ó considerable depósito del aire comprimido.

Es claro que por el movimiento *sinistrorsum* del foro (puesto que la parte

de la izquierda pesa más que la derecha), el aire á $2^{atm}$, que entra desde el eje por *ca*, desalojará el líquido de la celda inferior *P*, el cual saldrá por *o*.

Para aprovechar la expansion no debe entrar indefinidamente en la celda inferior *P* el aire á 2 atmósferas. Debe, pues, cesar enteramente su ingreso cuando la celda esté por mitad llena de agua, y la otra mitad de aire á $2^{atm}$.

Así, pues, cuando *ab* esté casi horizontal (horizontal en otras construcciones) empezará siempre por *ca* la entrada del aire comprimido, y terminará así que el tabique *ab* ocupe la posicion, en que, si el foro fuera compresor y no aero-motor, empezaría el almacenaje.

Dilatándose el fluido gaseoso, á medida que, por el giro *(sinistrorsum)* del foro, vaya ascendiendo la celda *P*, es claro que el aire seguirá expulsando al líquido por *o*, hasta que el tabique *ab*, ya en la parte superior, vuelva á ponerse casi horizontal; caso en el cual se hallará el aire en la celda á solo $1^{atm}$ de tension; esto es, á la tension del aire ambiente.

Sucediendo así las cosas, sin que la ley de Gay-Lussac interfiera en los fenómenos de la dilatacion (bien por efecto de tal lentitud en la marcha que dé lugar á que el calor irradiante de los cuerpos exteriores compense el frio de la expansion, bien por efecto de pulverizaciones calefacientes, bien por ambas cosas á la vez), entonces la celda aero-motora *P* habrá utilizado toda la expansion del fluido gaseoso (y análogamente las demás); porque el aparato de compresion lo tomó á la tension de la atmósfera ambiente, y á esa misma tension lo abandona la máquina aero-motora.

No puede darse mayor exactitud.

## II.

Ahora bien: ¿cómo haremos para que el aire entre y deje de entrar oportunamente en las celdas aero-motoras?

En todo aparato destinado á «comprimir» gases, se puede realizar automáticamente el juego de las válvulas por la accion misma del gas comprimido. Cuando el émbolo baja en un cilindro compresor, el gas abre la válvula del depósito en cuanto la tension intra-cilíndrica es superior á la del almacen (1); y, no bien el émbolo retrocede, esa válvula se cierra por sí misma, etc.

Pero no sucede esto cuando la máquina utiliza la tension de un gas, préviamente percondensado. Entónces, segun ocurre en la máquina de vapor, es

(1) Antiguamente, cuando no habia válvulas compensadas, era preciso un gran exceso de presion para abrir, porque, siendo tronco-cónicas las válvulas, presentaban más superficie por el lado del almacen que por el lado del cilindro: hoy no existe este inconveniente en los varios sistemas de compensacion. Entre ellos parece muy práctico el de *Connor and Dods*, de Virginia City, en Nevada. Otros me ocurren; pero no los describo, por puramente técnicos.

preciso abrir y cerrar las válvulas por la accion de organismos *ad hoc*, tales como excéntricas, topes, etc.

Y, siendo esto general, preciso ha de ser abrir y cerrar las válvulas de los foros celulares aero-motores por accion mecánica, independiente de la tension propia del aire comprimido que pone en movimiento el aparato.

## III.

Varios medios me ocurren. Voy sólo á exponer brevísimamente algo de lo que me parece más adecuado, clasificado en 2 especies:

1.° Accion sobre las válvulas, ejercida desde el exterior del foro.

2.° Accion sobre las válvulas, ejercida desde el interior del foro.

## IV.

Sea un foro en que no haya más que CELDAS, GALERÍA Y ALMACEN INTERIOR.

Este almacen será un cilindro, dividido en 2 departamentos $A$ y $B$, sin comunicacion entre sí (*fig.* 582).

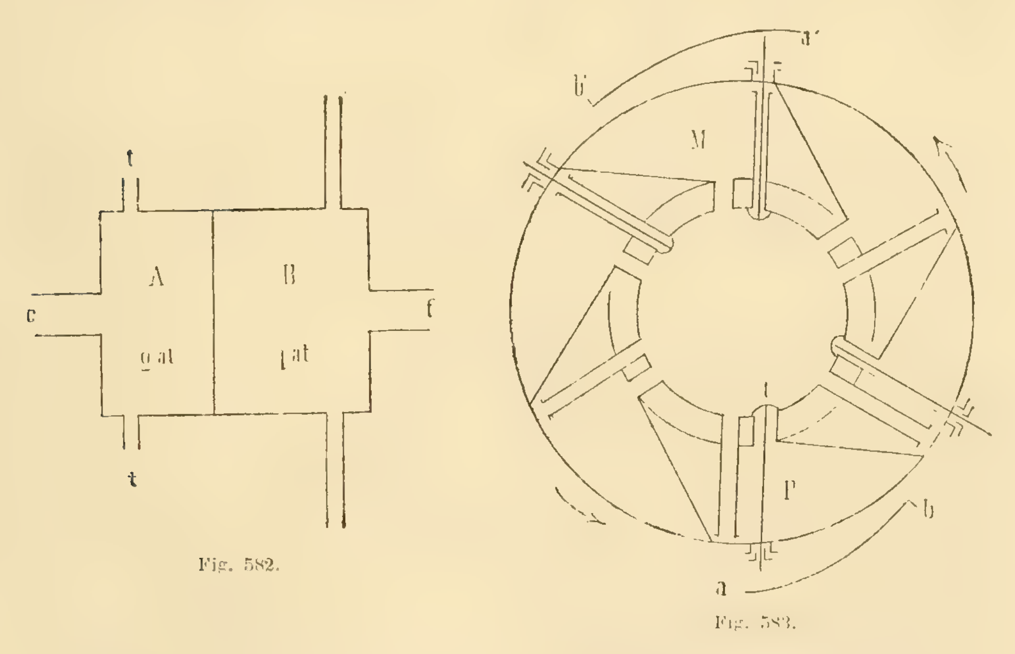



Fig. 582.

Fig. 583.

Por el eje $c$ ingresa en el departamento $A$ el aire de la canalizacion á $2^{atm}$.

El gas á $2^{atm}$ entra desde $A$ en las celdas inferiores, por los tubos cortos $t$, mientras están abiertos.

Y sale de las celdas superiores á $1^{atm}$, por los tubos largos, cuando éstos se hallan abiertos, lo que ocurre en llegando las celdas á la parte superior. El

aire viene luego al departamento *B* del eje, de donde marcha á la atmósfera ambiente por *f*.

Cada válvula de los tubos cortos tiene una varilla *t* (*fig*. 583) que sobresale al exterior á través de su correspondiente caja de estopas.....

Una curva fija *a b*, independiente del foro, inferiormente colocada, excéntrica con el centro del aparato, levanta cada válvula de los tubos cortos por el intermedio de la correspondiente varilla *t*, que llega hasta la curva cuando una celda ocupa la posicion de la *P*.

Y esta válvula se cierra, cuando la celda tiene su mitad llena de aire á 2 atmósferas, clausura que se verifica por la presion interna motriz cuando deja de actuar sobre la varilla la curva excéntrica *a b*.

Otra curva análoga por la parte superior, abre y cierra las válvulas de los tubos más largos, cuando una celda se halla en la posicion *M*.

El aire, dilatado á $1^{atm}$, sale por estos tubos, que comunican con el departamento *B*, y de *B* á la atmósfera ambiente por *f*, etc. (*fig*. 582).

Este método, lo mismo es aplicable á un foro que á un haz. Sólo habrá que tener en consideracion los momentos en que deban cerrarse inferiormente las válvulas de los tubos cortos, momentos que han de ser diferentes, segun se desprende de lo que sabemos del sistema de la inmersion (1) (pág. 437).

## V.

Las varillas que sobresalen al exterior entrañan el inconveniente (grave por cierto) de exigir otras tantas cajas de estopa, ú órganos análogos; las cuales requieren cuidados, lubricacion, reemplazo, etc.

---

(1) En vez de curvas excéntricas, pudieran usarse dos trozos de cremalleras, uno por la parte inferior y otro por la superior, ambos independientes del foro y concéntricas con él, en donde, con las debidas precauciones, engránase, durante algun tiempo, un piñon por cada celda, el cual constitúyese la cabeza de un tornillo movible dentro de una tuerca fija á las paredes del foro (*fig*. 584).

Girando el piñon primero en un sentido por engranar en la cremallera inferior, abriría la válvula de su celda; y, girando luego en sentido inverso, en la otra cremallara superior la cerraría, cuando fuese oportuno, y la mantendria fuertemente cerrada mientras debiese estar así.

La varilla de cada válvula actuaría sobre un muelle, para que, cediendo éste, no rompiesen los excesos de presion el organismo obturador.

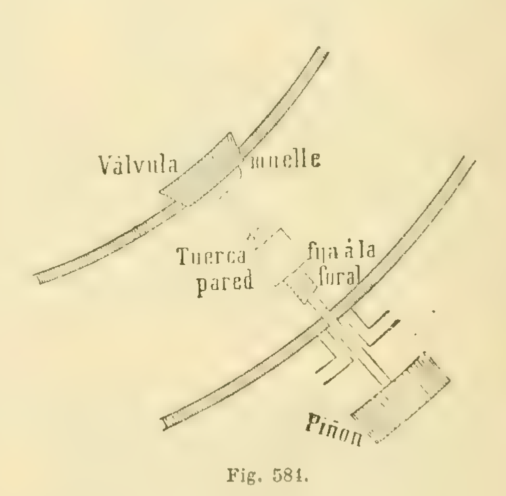


Fig. 581.

Supongamos fijo el eje, y sobre él girando al foro como la rueda de un carruaje en el suyo (*figs*. 585 *y* 586).

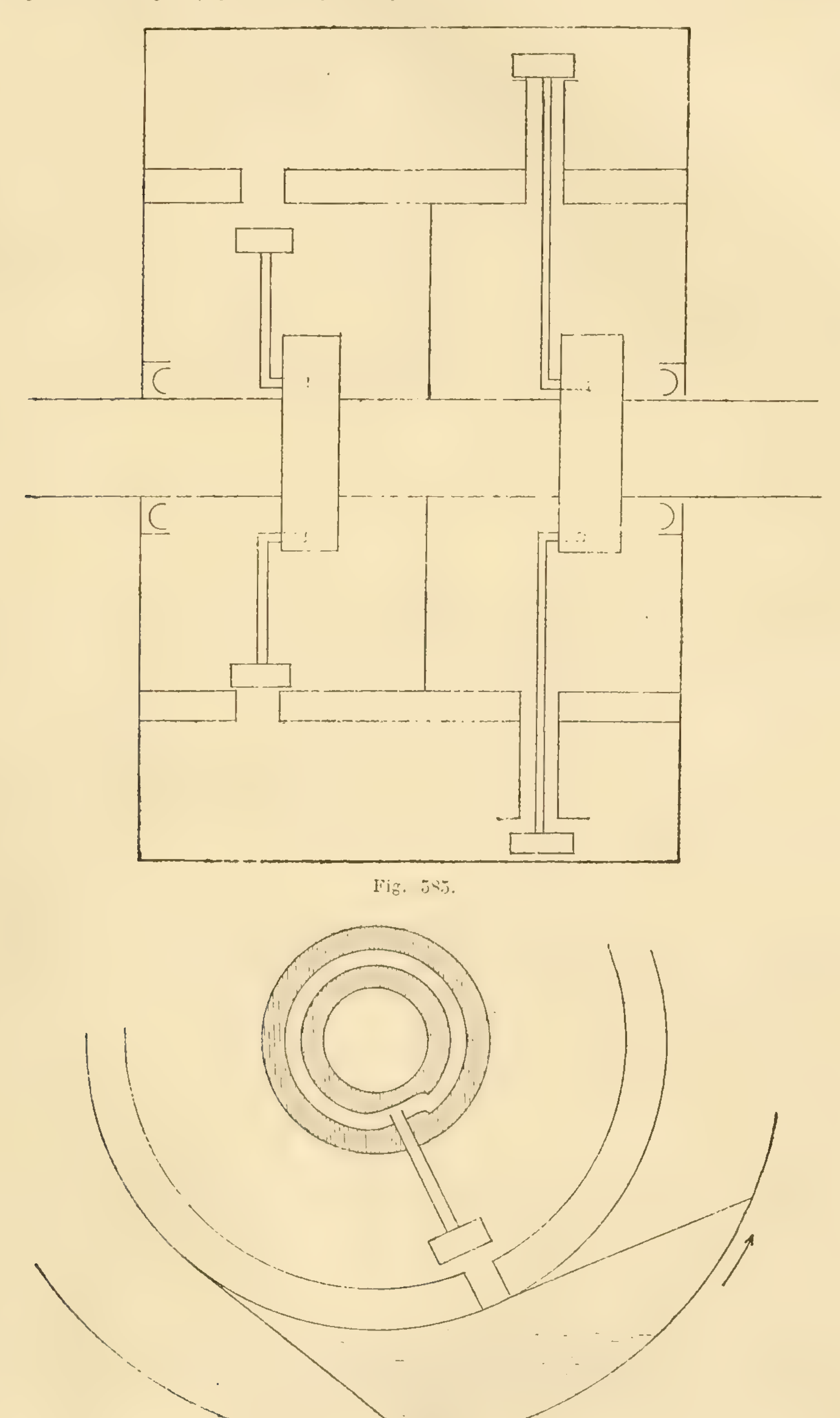


Fig. 585.

Fig. 586.

Por de contado, el eje fijo sería hueco, y estaría horadado por numerosos orificios. Un tabique incomunicaría la parte anterior con la posterior.

Dada esta nueva disposicion, los organismos para abrir y cerrar las válvulas serían excéntricos de ranura, fijos al eje fijo (*fig.* 586).

En las ranuras jugaría constantemente el extremo de varillas (convenientemente recodado para tal efecto, *fig.* 585).

El dibujo no representa todas las válvulas. El lector las imaginará, lo mismo que sus guias, etc.

La parte inferior representa abierta una de las válvulas correspondientes á los tubos cortos. Análogamente se imaginará lo correspondiente á las válvulas que funcionan en los tubos largos.

Una excéntrica está naturalmente en el departamento *A* y otra en el departamento *B* (*fig.* 582, aplicables al caso presente lo mismo que al anterior) (1).

## VI.

Este sistema ofrecería algunas dificultades, caso de averías, por estar colocados interiormente todos los órganos.

Afortunadamente existe un medio precioso.

Y es lo raro que nos dispensa de toda clase de cajas de estopa y cueros embutidos: sólo exige válvulas.

Lo esencial es encontrar un punto de apoyo para las excéntricas.

Y este punto de apoyo puede ser la gravedad.

Hé aquí el cómo (*fig.* 587).

El eje, hueco, con orificios, y los correspondientes tabiques divisorios, estará ahora «soldado» á las paredes del foro (ó sujeto á ellas de otro cualquier modo herméticamente), de manera que no pueda girar el uno sin el otro.

Y, tanto en el departamento *A* como en el *B*, estará colgado del eje un organismo como el representado por la *figura* 587.

La excéntrica es ahora calada en el centro, y las ranuras están ahondadas, aunque sin calar, en una plancha circular *P*, *P*.....

En esta plancha están sólidamente implantados los ejes individuales de las ruedas *R*, *R*, las cuales pueden libremente girar sobre el fijo eje central.

---

(1) En vez de estas excéntricas, podrian estar sujetos al eje fijo trozos de cremalleras que oportunamente, como en la *figura* 584, hiciesen girar, primero en un sentido y luego en otro, la cabeza de un tornillo que, en su rotacion, abriese y cerrase convenientemente las válvulas.

De la plancha sale el vástago $V$, de donde pende un gran peso $W$.

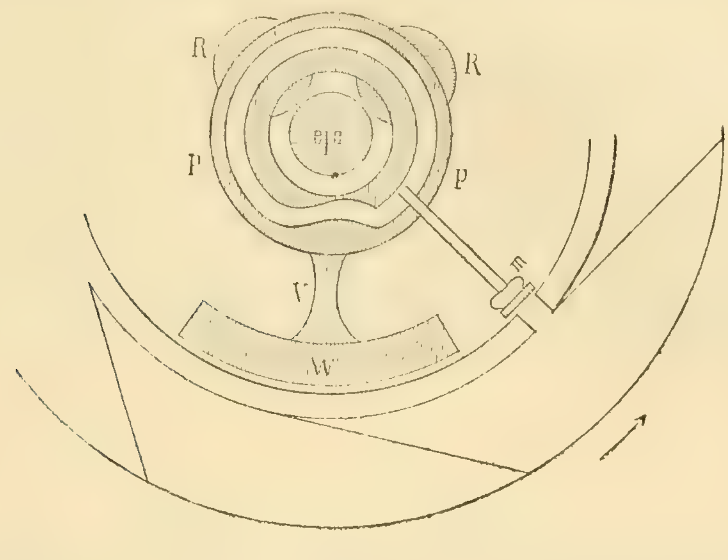



Fig. 587

A pesar de la rotacion *(sinistrorsum)* del foro aero-motor, la excéntrica se mantendrá fija é inmóvil en el espacio; porque el gran peso $W$ conservará siempre horizontal la línea que une los centros de las ruedas $R$, $R$, sostenedoras del aparato (1).

¿Podria, tal vez, tomar un movimiento pendular el gran peso $W$?

Es muy difícil que tal suceda.

Para ello era preciso que los esfuerzos de las varillas de las válvulas en la parte excéntrica de la ranura, se acumulasen en la masa $W$, por isocronismo de esos esfuerzos concordantes con el movimiento pendular.

Pero la solicitacion de las varillas á hacer oscilar el peso $W$ en un cierto sentido, sería siempre contrariada por el mismo movimiento pendular, á no ser en el excepcional caso de efectuarse el esfuerzo en la fase favorable de la oscilacion.

Sin embargo, supongamos que alguna rara vez oscilase brevemente $W$:

---

(1) La idea de buscar un punto de apoyo permanente en una masa solicitada por la gravedad, y suspendida libremente sobre un eje de revolucion, es susceptible de más aplicaciones que la referente á la excéntrica de ranura.

Por ejemplo: pudieran fijarse en esa masa invariable cremalleras en doble sentido, donde oportunamente se engranase y se desengranase un piñon, cabeza de tornillo, que, girando dentro de su tuerca (fija) unas veces *dextrorsum* y otras *sinistrorsum* abriese primero las válvulas, y luego las cerrase apretándolas fuertemente contra sus asientos, etc.

Claro es que, para evitar los inconvenientes de los choques, debia la cabeza del tornillo tener su correspondiente palanquilla de tope, etc.

la oscilacion no produciría perjuicio ninguno en las válvulas cerradas, pues cerradas permanecerían.

Sólo podria anticiparse ó retardarse el momento de quedar abierta ó cerrada la válvula inferior, lo que nunca sería anticipo ó retardo de consideracion, por grande que fuese la amplitud de la oscilacion pendular.

Los rozamientos de las ruedas *R*, *R*, sobre el eje del foro aero-motor serían insignificantes; y, así, sin cajas de estopa ni otros obturadores, difíciles de reemplazar, las válvulas funcionarían oportunamente, y harían gran presion sobre sus asientos cuando debieran estar cerradas.

Roldanas en las ranuras suavizarían los rozamientos; y partes flexibles *m* en las varillas templarían cualquier exceso en la presion con que las mismas varillas apretasen las válvulas contra sus asientos.

## VII.

Este método de buscar un apoyo en una masa libremente solicitada por la fuerza de la gravedad, es tan fácil de aplicar á un foro celular aero-motor como á un conjunto cualquiera de ellos conjugados.

Sólo habria que calcular y ejecutar con acierto la curva de la excéntrica, á fin de que la varilla de cada válvula no estuviese abierta sino el tiempo indispensable para la alimentacion del foro. En el foro-tipo pág. 580, el tiempo destinado á la alimentacion sería de $27°\frac{4}{10}$, mientras que el destinado á la dilatacion, ó expansion, habria de ser igual á $180 - 27,\frac{4}{10} = 152°,\frac{6}{10}$; lentitud sumamente provechosa para combatir el enfriamiento consiguiente á la ley de Gay-Lussac, dando así tiempo á los cuerpos circunstantes para infundir, por natural radiacion, en la masa gaseosa el calor gastado en el trabajo de su distension. (Lo cual no impediría, á ser preciso, la conveniente calefaccion del aire por medio de enérgicos pulverizadores, etc., durante el proceso de la dilatacion.)

Para los demás foros aero-motores de la conjugacion habria que calcular estos tiempos (pág. 437); y, hecho el cálculo, construir la excéntrica.

## VIII.

Ahora bien:

¿No podríamos prescindir de algunas de estas válvulas, ya que de todas fuera imposible?

Si el evitarlas en la compresion es un *desideratum* de la industria, ¿no nos acercaríamos á él suprimiendo algunas?

¿Es posible realizar esta supresion?

Sí: en el sistema de las branquias podemos suprimir tan engorrosos organismos, excepto uno.

Los foros branquiales, solos ó conjugados, son aparatos recíprocos, que lo mismo pueden servir para comprimir y percondensar gases que para ser movidos por ellos.

No hay más diferencia sino que los foros branquiales, cuando trabajen como aparatos de compresion, no necesitan válvulas; y, cuando estos foros trabajen como máquinas aero-motoras, necesitan un organismo, independiente del aire comprimido, que primero permita y luego intercepte la comunicacion éntre el foro y el almacen de la fuerza motriz, abriendo y cerrando UNA SOLA válvula en los momentos oportunos.

## IX.

Sin embargo, la sencillez y simplificacion producida por una disminucion numérica de órganos delicados, podria tal vez quedar compensada, si, en razon directa de la simplificacion, creciese el esmero exigido por los pocos órganos restantes.

No creo que tal suceda. Lo simple es siempre lo mejor, aunque requiera gran esmero.

Y este es precisamente el caso de la VÁLVULA ÚNICA, que paso á describir, la cual requiere exactitud y rigorosa ejecucion (1).

1.° Supongamos perfectamente cilíndrica toda la superficie interior de un foro branquial rotatorio que va á servirnos como aero-motor.

2.° Supongamos que el abra de introgresion del aire motor en cada celda es rectangular y bastante ménos larga que la profundidad del foro.

3.° Supongamos fijos, materialmente, el eje y el globo-almacen del aire comprimido con que se va á poner al foro en movimiento.

4.° Supongamos, en fin, que este globo-almacen termina en un rectángulo de longitud mayor que el abra de introgresion del gas motor en cada celda, y además en 2 rebordes ó zapatas $z, z'$, perfectamente cilíndricas, que se ajustan con toda perfeccion contra la superficie cilíndrica foral *a a a a*..... (*fig.* 588).

*b b'* es el rectángulo de salida del aire comprimido, que llega por el eje al globo-almacen (*fig.* 589).

(1) Téngase siempre presente que esto pasa en todos los aero-motores que la industria conoce: son aparatos tan delicados, que exigen más esmero todavía que las máquinas más acabadas de vapor.

Condicion: $z$, $z'$, zapatas que se ajusten perfectamente al cilindro interior del foro-motor.

$b\,b >$ que el abra de introgresion del aire en cada celda.

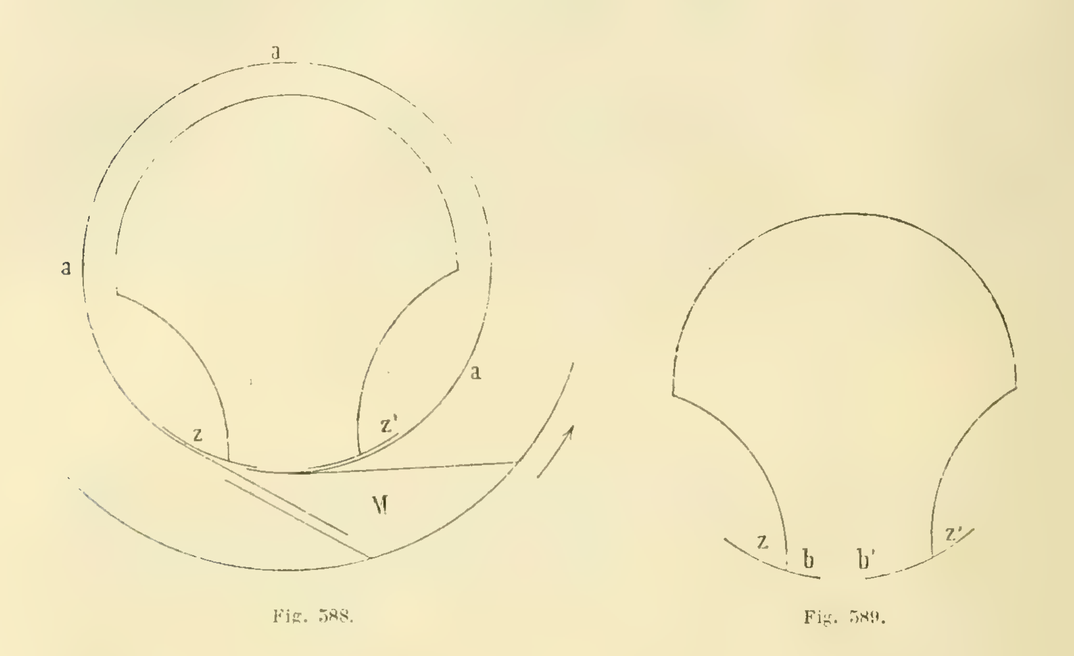



Fig. 588.

Fig. 589.

Cueros embutidos ó láminas metálicas muy delgadas, situados en las zapatas $z$ y $z'$ pueden favorecer la hermeticidad; pero, si hemos de evitar los cueros, júzguese de lo perfecta que debe ser la adaptacion de las zapatas á la superficie cilíndrica interior del foro branquial aero-motor: pueden ser elásticas las zapatas, etc. (1).

## X.

En la posicion que representa la *figura* 588, no puede en la celda $M$ entrar el aire comprimido existente dentro del globo-almacen, por estar la zapata $z$ cubriendo el abra de la celda $M$, la cual naturalmente está llena de agua.

Pero avanza el foro en su rotacion (*sinistrorsum*), permaneciendo fijo el globo-almacen; y el abra de la celda se presenta (*fig.* 590) ante el rectángulo $b\,b'$: el aire deprime un poco el agua, entra en la celda, desaloja el líquido, y éste sale fácilmente por la branquia respectiva (y con la mayor velocidad cuando la branquia es externa). Adelantando más la rotacion foral, el aire

(1) Es fácil imaginar muchos medios que favorezcan la hermeticidad recurriendo á las columnas múltiples, de que se da idea páginas 635 y 636.

comprimido entra en la celda con mayor rapidez, y el líquido desalojado se escapa expeditivamente por la branquia.

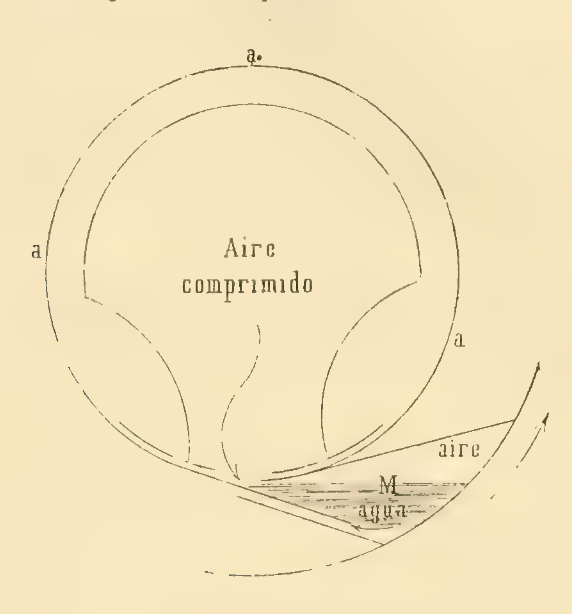



Fig. 590.

Avanzando siempre la rotacion, llegará un instante en que ya no podrá entrar más aire, por impedirlo la zapata $z'$; pero, á medida que el foro vaya girando, y la celda $M$ ascendiendo, el agua irá saliendo por la branquia, y el aire siempre seguirá dilatándose, aunque sin poder salirse de la celda, por impedirlo la presion hidráulica, que lo mismo se opondrá á la salida por el abra rectangular que por la salida de la branquia (y esto tanto más seguramente si la branquia fuese externa).

Sólo podrá salir el aire (despues de haber desarrollado su fuerza por expansion) cuando, siguiendo la rotacion, se ponga horizontal, por la parte superior del foro, el tabique de la celda encima del nivel líquido: entonces, y solo entonces, el aire dilatado se escapará por la branquia á la presion normal de la atmósfera, despues de haber devuelto teóricamente toda la fuerza que se gastó en comprimirlo.

Nada más sencillo si las zapatas y el interior del foro aero-motor están torneados á la perfeccion, de modo que se adapten rigorosamente, y si láminas delgadas coadyuvan á la obturacion. Véase el detalle siguiente de un aero-motor que reciba el aire á $4^{atm}$, y cuyos globos-almacen sirvan de eje de rotacion al sistema foral aero-motor. El siguiente aparato es, con pocas variantes (necesarias para el ajuste de las zapatas), lo inverso precisamente de los aparatos anteriormente descritos como compresores.

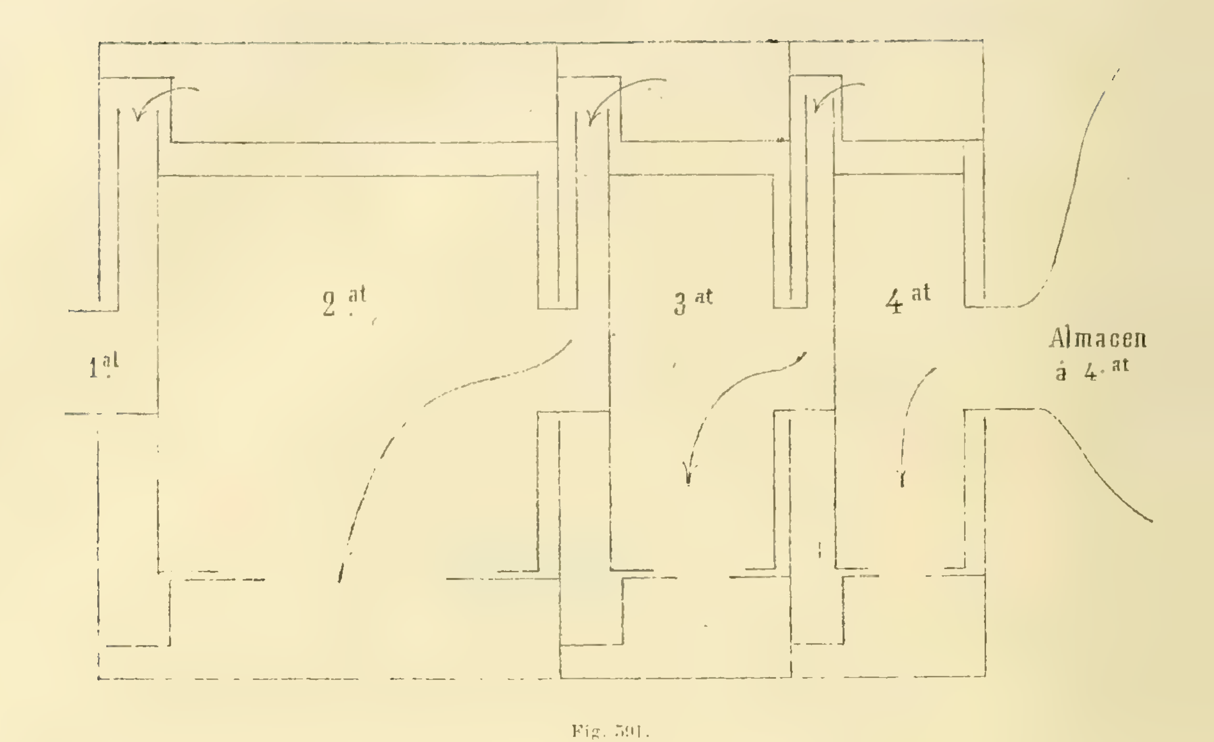



Fig. 591.

Los ejes están fijos á los soportes y á los ejes los globos-almacen.

## XI.

La teoría de los foros celulares como aero-motores es la misma, pero *à contrario sensu*, que la de estos organismos considerados como aparatos de compresion.

Supongamos 7 foros capaces de una diferencia de niveles igual á $1^{atm}$, pero cuyas profundidades fuesen

$$\underbrace{\tfrac{1}{7},\ \tfrac{1}{6},\ \tfrac{1}{5},\ \tfrac{1}{4}}_{\text{1.er haz.}}\quad \underbrace{\tfrac{1}{3},\ \tfrac{1}{2}}_{\text{2.o haz.}}\quad \underbrace{1}_{\text{Foro primario.}}$$

Si empleásemos en ellos el aire á $8^{atm}$ de una extensa canalizacion-almacen, entónces el aire á $8^{atm}$ entraría en el foro de profundidad, igual á $\frac{1}{7}$, donde se dilataría hasta bajar á la tension de $7^{atm}$; de aquí pasaría al foro de profundidad, igual á $\frac{1}{6}$, donde quedaría á $6^{atm}$..... y así sucesivamente hasta llegar al foro primordial á la tension de 2 para salir á la de 1.

La expansion, pues, sería absoluta habiendo lentitud, ó pulverizacion calefaciente, ó ambos recursos á la vez.

Lo esencial de estos foros celulares, al funcionar como máquinas aero-motoras, consiste en elevar, por medio de una comprimida masa gaseosa, el centro de gravedad de un considerable semi-foro líquido.

Y mientras mayor resulte la distancia éntre verticales, mayor será la potencia del foro celular aero-motor.

¡Máquina que realizará un *desideratum* de la mecánica: el movimiento circular contínuo obtenido directamente con aprovechamiento de la expansion! Más aún: el movimiento circular contínuo de potencia constante (1).

---

(1) Hay que descontar lo que hemos denominado auxilio: ventaja al comprimir, desventaja ahora al utilizar la compresion. Pero esta desventaja es inapreciable, por ser insensibles las PALPITACIONES de la intensidad en la fuerza motriz.

# APÉNDICES AL CAPÍTULO IV.

## APÉNDICE I.

### LOS APARATOS DOBLEMENTE ROTATORIOS DE PALA FIJA, COMO AERO-MOTORES Y COMPRESORES.

I.

Si las máquinas que se mueven por la accion del aire comprimido han de tener aplicacion en los trabajos subterráneos y en aparatos semovientes, es necesario reducir las dimensiones, y hacerlas independientes de toda posicion que exija la horizontalidad de las superficies libres de los líquidos. Actualmente posee la industria aero-motores de émbolos sólidos que funcionan bastante bien, y utilizan la expansion trabajando con aire seco, ó bien recalentado en su tránsito forzoso á través de agua caliente; y, si he pensado en nuevas disposiciones, ha sido por mi deseo de suprimir enteramente la inconveniencia terrible de las válvulas, y por mi constante afan de aprovechar la expansion logarítmicamente.

Y con efecto, el aparato doblemente rotatorio de palas fijas descrito pág. 716 puede realizar este *desideratum*, si bien con transiciones bruscas en la intensidad de la potencia, como se indica en la nota de dicha página.

II.

Las modificaciones no serían de consideracion.

Para fijar las ideas, supongamos que se aprovecha aire préviamente comprimido hasta la densidad de $8^{atm}$. Un primer aparato, tal como el siguiente (*fig.* 592), recibirá del

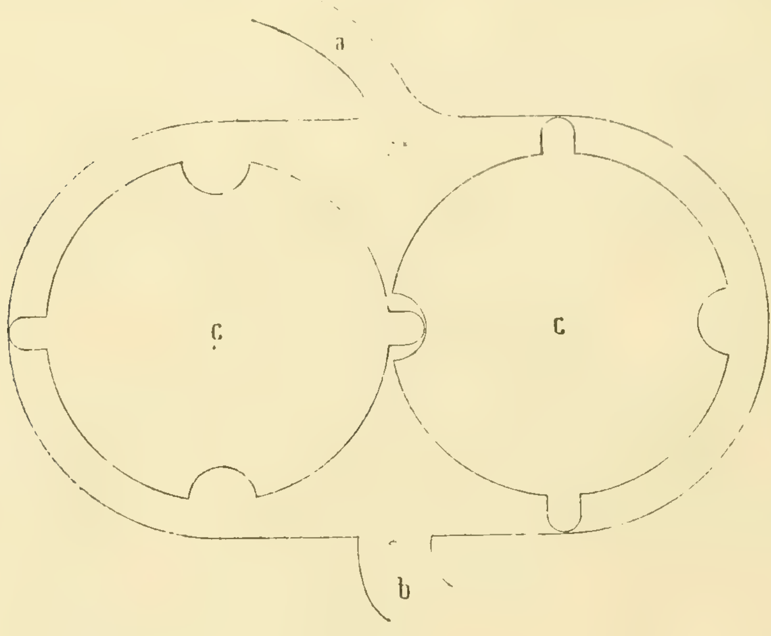



Fig. 592.

depósito ó de la canalizacion por *a*, el aire comprimido, y lo dejará salir por *b* á un almacen circumyacente que tenga el aire á la densidad de $4^{atm}$.

De este almacen se alimentaría otro segundo aparato, cuyas palas serían de doble superficie que las del primero; esto es,

El mismo ancho $\times$ 2 veces el largo; implantadas en cilindros gemelos enteramente iguales, excepto la profundidad, que sería doble. Este segundo aparato dejaría salir el aire á otro almacen á $2^{atm}$, del cual se alimentaría otro tercer aparato de cilindros gemelos iguales á los de los dos anteriores, pero de palas 4 veces mayores en superficie que las del primero;

(El mismo ancho $\times$ 4 veces el largo), etc.

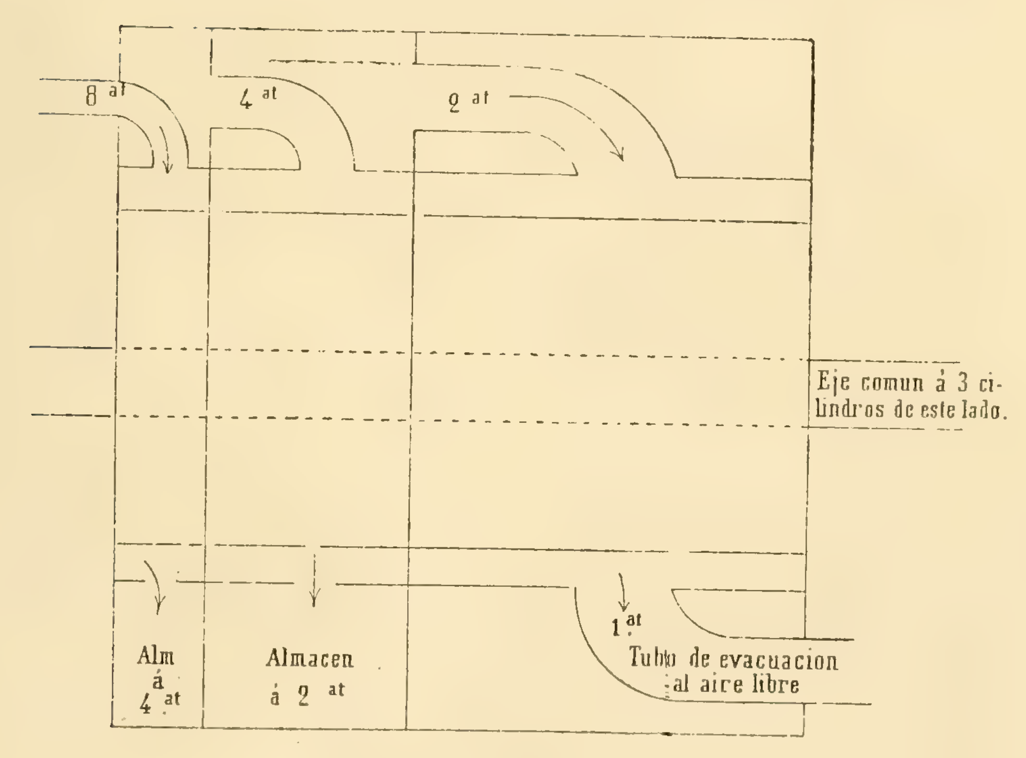
Imaginemos ahora una disposicion importante: no hay más que 2 ejes rotatorios para las palas: tres cilindros con sus palas están en el uno de los dos ejes, y tres en el otro.

Las palas de cada cilindro están diametralmente opuestas; pero las proyecciones verticales de cada par de palas de cada eje se cruzan; porque, si no se cruzasen, todos los cilindros se hallarían simultáneamente en sus puntos desfavorables y en sus puntos favorables; pero, colocándolas de modo que sus proyecciones se crucen adecuadamente, podrán estar siempre algunos aparatos en sus períodos más favorables cuando los otros entren en el ménos ventajoso.

Así el conjunto marchará con más regularidad.

De todos modos, por lo irregular de las dilataciones, sería indispensable que cada eje tuviese su volante: uno en un eje junto á las palas tales como 1, y otro en el otro eje junto á las palas mayores tales como 8.

**Aparato para utilizar aire á 8 atmósferas.**




Fg. 593.

En las 3 *figuras* siguientes (594 *á* 596).

*A*, *A'* y *A''* están implantados rígidamente en un solo y mismo eje;

*B*, *B'* y *B''* en otro eje.

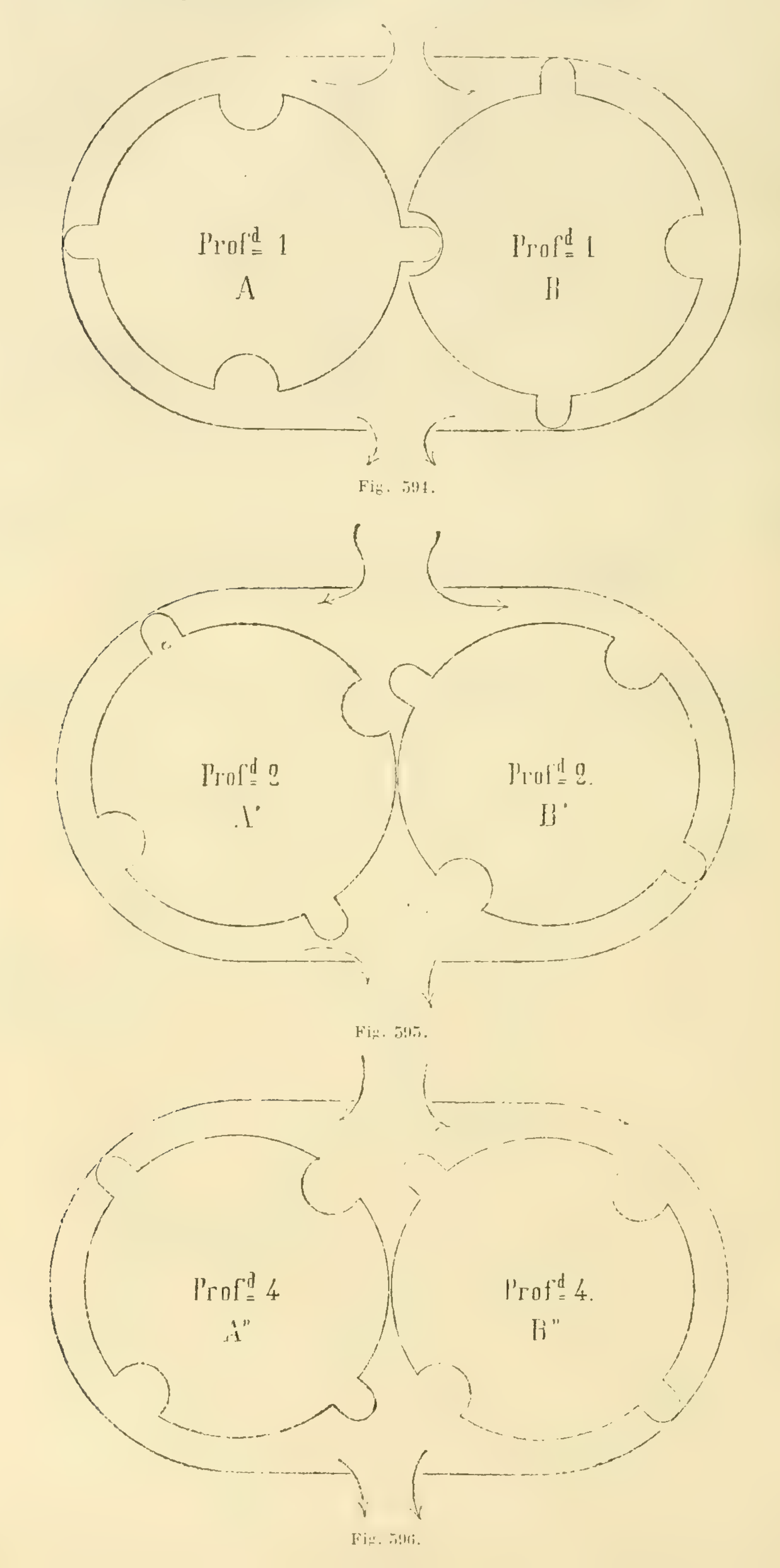



Fig. 594.

Fig. 595.

Fig. 596.

Como es fácil de discurrir, estos almacenes pueden presentar mucha mayor superficie, ya hácia arriba, ya hácia abajo (pues no es preciso que afecten la forma cilíndrica). Tan extensas superficies metálicas pueden absorber del aire ambiente y de los cuerpos circunstantes suficiente calor á contrarestar el frio propio de la dilatacion, despues de convertida en movimiento dinámico.

Aun cuando, de tal modo, quedasen anulados los efectos de la ley de GAY-LUSSAC, siempre, sin embargo, debería emplearse una activa pulverizacion para lubrificar constantemente los ajustes; y, teniéndolos abundantemente llenos de agua, favorecer eficazmente la hermeticidad.

Llaves de purga con flotadores automáticos, dejarían salir oportunamente el líquido en exceso, procedente de tan enérgica pulverizacion, el cual volvería á servir, etc.

Por de contado, será ocioso decir que dos ruedas externas y dentadas de radio igual y del mismo número de dientes obligarán á los 2 ejes (cada uno de 6 palas en el caso que estamos estudiando) á girar con rotaciones contrarias é idéntica velocidad angular, y que los movimientos parásitos de las masas gaseosas cuando las palas entrasen en sus posiciones desfavorables, no podrian nunca tener la capital importancia que tendrian si los movimientos parásitos se verificasen en masas líquidas.

Parecerá á primera vista que todo esto entraña mucha complicacion. Pero, por mucha que hubiera, ¿podría nunca ser de consideracion comparada con la de la caldera tubular de una locomotora? Frente á una caldera tubular ¿quién habla de complicacion?

## III.

Aunque escalonada la dilatacion, la marcha de estos aparatos sería logarítmica, ó más bien casi logarítmica.

Fácil es ver que la teoría sería logarítmica y escalonada, aunque con algunas no importantes diferencias consiguientes á la implantacion de los cilindros de las palas en los ejes respectivos de tal modo que se crucen las proyecciones en el plano vertical.

Supongamos (para mayor facilidad en la exposicion) muy grandes los almacenes interyacentes, á fin de que ejerza muy poco influjo en su vasta capacidad el volúmen del aire comprimido que á cada rotacion se tome de la canalizacion.

Sea la pala chica..... = 1 de área
la pala mediana. = 2
la pala mayor... = 4

Sea de $8^{atm}$ la tension del aire en la canalizacion-almacen.

Y resultará al fin de cada rotacion lo que sigue:

La pala chica tiene, por el lado de la canalizacion, una presion como 8, y por el centro del aparato, otra antagonista tal como 4: su eficacia es, pues,

$1^{area} \times (8^{at} - 4^{at}) = 4^{k}$

La pala intermedia, $2^{area} \times (4^{at} - 2^{at}) = 4^{k}$

La pala mayor, $4^{area} \times (2^{at} - 1^{at}) = 4^{k}$

*Total*..... $= 12^{k}$

resultado análogo á los similares escalonados del capítulo que empieza á la pág. 400.

Si en vez de estos 3 aparatos doblemente rotatorios, logarítmicamente escalonados, hubiésemos tenido solamente el primero trabajando á presion plena, sólo habríamos obtenido un rendimiento igual á 7.

$$1^{area} \times (8^{at} - 1^{at}) = 7.$$

Se habrían, pues, perdido los 5 que de otro modo se salvan, aprovechando la expansion hasta el último momento.

Examinemos otro ejemplo, en que haya una pala intercalar entre cada una de las 3 anteriores.

Sean, pues, las áreas.

1.ª pala............ = 1
2.ª.... $\sqrt{2}$....... = 1,4142
3.ª.... ............ = 2
4.ª.... $2\sqrt{2}$....... = 2,8284
5.ª. ............... = 4
6.ª.... $4\sqrt{2}$....... = 5,6568

$1^{area} \times (8^{at} - 5^{at},6568) = 2,343$
$1^{area},4142 \times (5^{at},6568 - 4^{at}) = 2,343$
$2^{area} \times (4^{at} - 2^{at},8284) = 2,343$
$2^{area},8284 \times (2^{at},8284 - 2^{at}) = 2,343$
$4^{area} \times (2^{at} - 1^{at},4142) = 2,343$
$5^{area} \times (1^{at},4142 - 1^{at}) = 2,343$

14, 05

Se aprovecha así el doble que trabajando á presion plena.

Aumentando los intercalares, especialmente entre $8^{at}$ y 4, y entre 4 y 2 se aprovecharía mejor la expansion.

IV.

**Mutatis mutandis** el aparato doblemente rotatorio de palas fijas que se acaba de estudiar puede servir de COMPRESOR. Sería logarítmico, pero no diferencial.

# APÉNDICE II.

## MÁQUINAS ROTATORIAS DE ÉMBOLO ELÍPTICO.

El sistema monocilíndrico, aunque casi el único en uso, no es (ó por lo ménos no me ha parecido nunca, á pesar de sus evidentes ventajas y facilidades técnicas de torno y pulimento) lo más adecuado para el aprovechamiento de la expansion; porque el piston permanece invariable, cuando disminuye, al dilatarse, la tension del gas (ó del vapor), despues de haber cesado de funcionar á presion plena.

En el sistema policilíndrico (diferencial ó escalonado) aumenta la superficie de los émbolos á medida que disminuye la tension; por manera que se compensa el decremento de la presion con el incremento de las áreas de los émbolos.

Quizá haya quien piense que sólo con émbolos conjugados pueden obtenerse acrecentamientos de las superficies, armónicos con los decrecimientos de las tensiones de un gas, á consecuencia de su dilatacion.

Pero existen otros medios.

Paréceme digno de consideracion el que voy á exponer, no sólo porque utiliza la expansion presentando superficies más extensas al compás de la disminucion de las tensiones, sino porque puede producir directamente el movimiento circular contínuo, ahorrando así la complicacion de manivelas y bielas, sin las cuales, hoy por hoy, no se transforma industrialmente en circular el movimiento rectilíneo de un piston.

Voy, pues, á describir una máquina rotatoria que, por su sencillez, podria prestar buenos servicios, si se consiguiera, mediante muy buenas empaquetaduras metálicas, asegurar la perfecta hermeticidad; *desideratum* todavía de los motores de vapor rotatorios, que, además, derrochan mucho combustible, por no utilizarse bien en ellos la expansion.

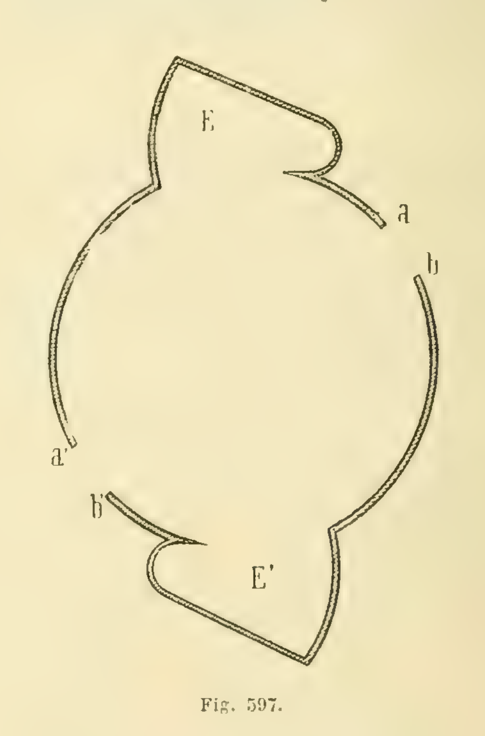


Fig. 597.

Empezaré por una forma sencilla para la explicacion; y, al fin, indicaré la propiamente industrial.

I.

Sea una caja como representa la *figura* 597.

Las superficies curvas son todas cilíndricas. *a b*, *a' b'*, son aberturas del cilindro grande, que comunican con la atmósfera. La caja está fija.

Tambien se halla fijo permanentemente

(*figura* 598) un tubo que comunica por una de sus bocas con el almacen del aire comprimido (ó bien con un generador de vapor).

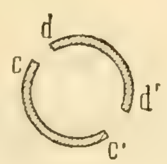



Fig. 598.

En este tubo hay dos abras *cd* y *c'd'*. (El lector imaginará que estas abras puedan, á

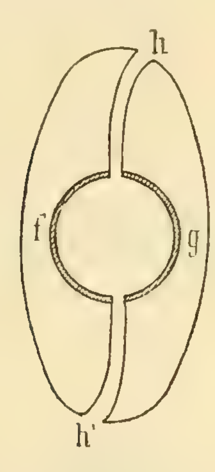



Fig. 599.

voluntad de los maquinistas, ensancharse ó angostarse por medio de organismos no representados, pero bien fáciles de concebir).

Este tubo, colocado concéntricamente con el cilindro grande, servirá de eje á un émbolo giratorio, elíptico, y de la disposicion representada en la *figura* 599. *fg* es un tubo rígidamente unido al émbolo y perpendicular al plano del papel: su longitud ha de ser suficiente para salir al exterior, atravesando una de las dos bases del cilindro grande. Tambien pudiera atravesar las 2, á ser preciso; pero entónces el eje, para permanecer fijo, habria de tener forma de *U*.

Por este tubo *fg*, que hace veces de árbol motor, se transmite al exterior el movimiento giratorio de que, al funcionar el conjunto, estará animado el émbolo elíptico. El tubo, no en la parte que sale al exterior, sino en la interior, tendrá los conductos *h* y *h'*

Dentro de los 2 estuches *E* y *E'* (*fig*. 597) juegan válvulas de la forma siguiente (*fig*. 600).

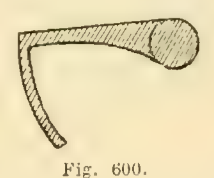


Fig. 600.

El conjunto está representado por las 5 *figuras* (601 *á* 605).

## II.

**Modo de funcionar.** En los prismas *mno* y *n'om'* hay aire comprimido á no muy elevada tension: luego veremos por qué. Este aire aprieta y ajusta fuertemente las válvulas contra el émbolo elíptico (*fig*. 601).

Por otra parte, el aire percondensado del almacen general (ó bien el vapor de una caldera) entra por el eje fijo; pasa por los conductos *h*, *h'* del émbolo elíptico; se esparce por los pequeños prismas triangulares *zzz* y *z'z'z'*, comprendidos entre el gran cilindro, las válvulas y el émbolo elíptico, y naturalmente este émbolo gira en el sentido de las flechas, impelido por 2 fuerzas iguales y diametralmente opuestas.

Adelantando el giro del émbolo elíptico, llega éste á una posicion tal como la representada en la *figura* 602.

Los prismas *rst* y *s't'r'* están completamente ocupados por el gas á la densidad del depósito de la fuerza motriz; y, como el gas ha estado trabajando á presion plena y sobre áreas cada vez mayores, el émbolo elíptico se habrá visto obligado á girar con velocidad angular creciente.

Las válvulas, por la accion del aire comprimido en *mno* y *m'n'o'*, siguen apoyándose contra el émbolo, contribuyendo á su rotacion, aunque con accion decreciente; tanto porque, ensanchándose los prismas *mno* y *m'n'o'*, disminuye en ellos la tension del aire, cuanto porque, ejerciéndose el empuje de las válvulas sobre puntos cada vez más próximos al centro, disminuyen los brazos de palanca sobre el émbolo elíptico.

Como se ve, en esta segunda posicion ya no están los conductos *hh'* del émbolo en comunicacion con el eje fijo; pero el émbolo continuará girando; el gas motor existente en los prismas *trs* y *t'r's'* sigue funcionan-

do (*fig.* 602) por expansion, y ejerce su energía sobre áreas crecientes más y más del émbolo

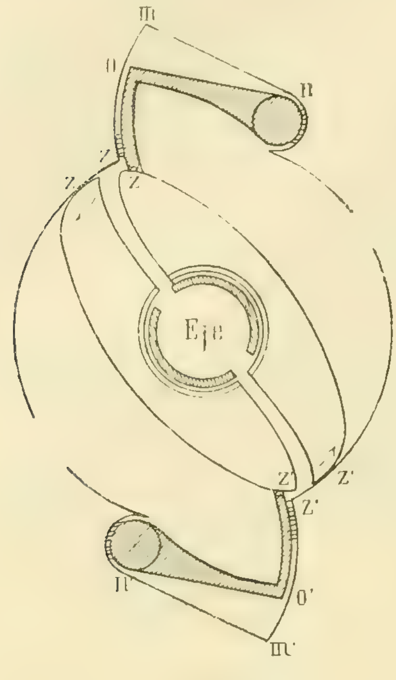



Fig. 601.

elíptico, hasta llegar á la posicion que marca la *figura* 603, en la cual se supone que ya el

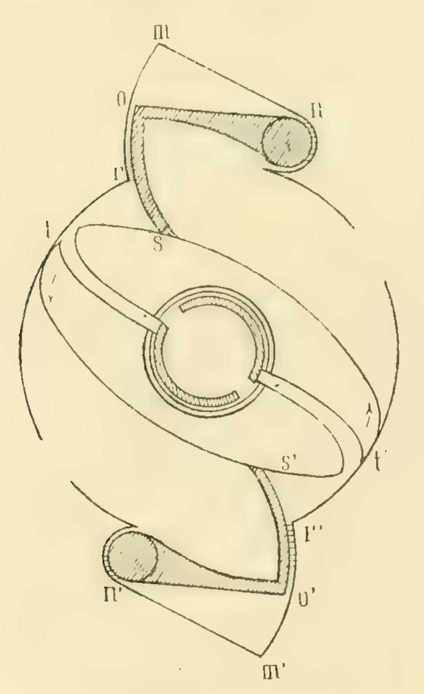


Fig. 602.

gas se ha dilatado todo lo posible; y tanto, que su densidad es ya la misma de la atmósfera ambiente.

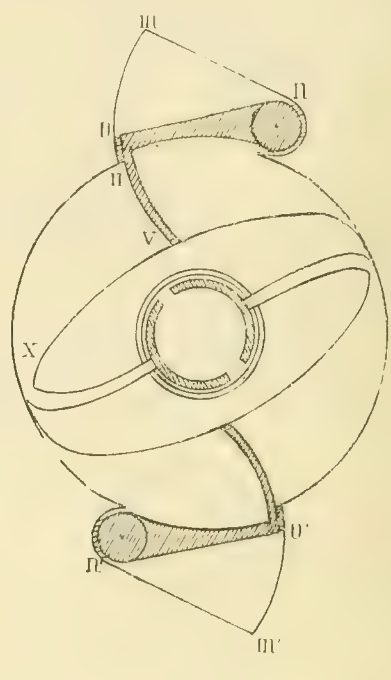


Fig. 603.

En efecto: se concibe que la introduccion del gas por el eje puede siempre interceptarse en un momento tal, que el prisma *t r s* (*fig.* 602) sea respecto del prisma *u v x* (*fig.* 603), lo necesario justamente para que pueda utilizarse toda la energía de la dilatacion.

Tambien se concibe que, para aumentar en determinados momentos la fuerza de la máquina (como al subir fuertes rampas de tranvía) se trabaje á presion plena hasta la posicion que simboliza la última *figura* (603) (ó ménos, si no se necesitara tanto). Al efecto, no hay más que suponer posible el ensanche oportuno (á voluntad del maquinista) de las abras del eje fijo *c d* y *c' d'* (*fig.* 598).

Pasada la posicion de la *figura* 603, se llegará á otra posicion tal como la de la *figura* 604.

En ella se ve que se escapa á la atmósfera todo el gas (ya dilatado) que antes empujó el émbolo. El émbolo, sin embargo, continúa su viaje, ó bien en virtud de la velocidad adquirida, regularizada por volantes; ó bien (y será siempre lo mejor y más seguro) en virtud de la accion de otra máquina gemela que entre ahora en juego. A tal fin, su émbolo elíptico

debe hallarse implantado á ángulo recto en el mismo tubo giratorio que hace veces de árbol motor.

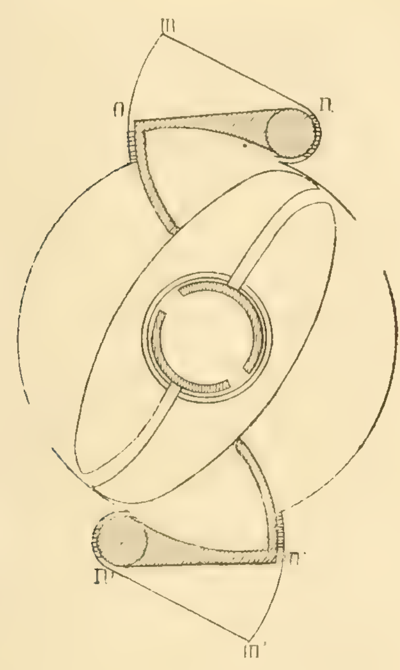


Fig. 604.

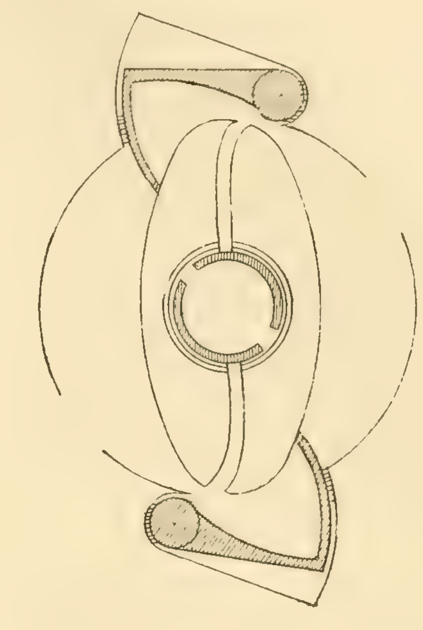


Fig. 605.

Además, el émbolo elíptico, hace entrar las válvulas en sus estuches *mno* y *m'n'o'*, comprimiendo el aire en ellos existente; compresion en que, si bien se gasta fuerza, luego se recobra utilizándola. Sólo se pierde lo que se gaste en rozamientos.

La *figura* 605 representa otra posicion de este período de introduccion de las válvulas en sus estuches respectivos.

Pasada esta posicion, volvemos á la primera, y así sucesiva é indefinidamente.

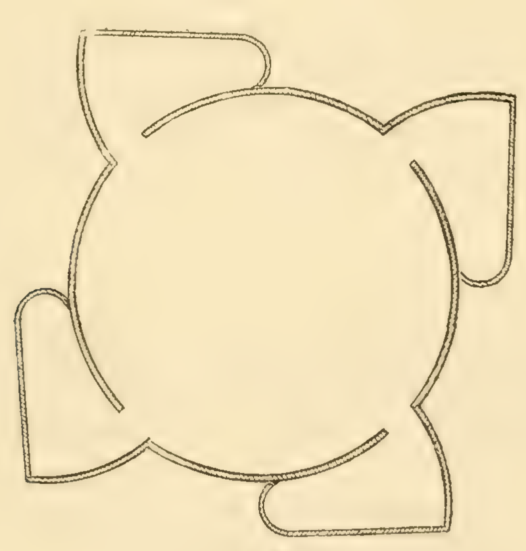


Fig. 606.

## III.

Por via de sencillez, no hay indicados en las *figuras* anteriores más que 2 estuches valvulares; por lo que, en cada máquina gemela, á un cuadrante de trabajo, seguiría otro de huelga; intermitencia de accion enteramente innecesaria y muy fácil de evitar si en cada gemela, para un solo émbolo elíptico, existen 4 estuches, como indica la *figura* 606. Nada más sencillo.

## IV.

Para la teoría de esta doble máquina rotatoria es necesario, además del conocimiento, de las leyes de la expansion y del estudio, geométrico de los prismas sucesivos *zzz* (*figura* 601), *rst* (*fig.* 602), *u v x*..... (*fig.* 603), el cálculo de los brazos de palanca sobre que primero se ejerce la presion plena, y, luego, terminada ésta, la expansion (1).

La accion de cada gemela sería creciente primero y decreciente despues.

Durante el período de la presion plena (por ejemplo desde la posicion de la *figura* 601 á la posicion de la *figura* 602) sucede lo siguiente:

Va aumentando la superficie del émbolo elíptico sobre que ejerce su accion el gas motor:

Va disminuyendo el brazo de palanca, puesto que esa superficie se acerca al centro del aparato:

Y va aumentando la superficie sobre que ejerce su accion antagonista la presion atmosférica ambiente:

De donde, sin necesidad de cálculos, se deduce que la accion motriz es creciente en el primer período, ó sea el del trabajo á presion plena.

Durante el período de la expansion sucede lo que sigue:

El gas, dilatándose, obra cada vez sobre una superficie progresivamente mayor del émbolo elíptico, como evidencia la comparacion de las *figuras* 602 *y* 603, donde $ts < xv$:

El punto del brazo de palanca, donde ahora actúa la accion motriz, ha disminuido tanto, que está precisamente en el medio del semi-eje mayor de la elipse;

Y la superficie sobre que ejerce su accion antagonista la presion atmosférica, resulta ya la máxima posible; de modo que, siendo igual á $1^{at}$ la presion dentro de *uvx* (*fig.* 603) (pues, por hipótesis ya no se puede dilatar más el gas motor) las 2 caras del émbolo elíptico se hallan solicitadas por presiones iguales y contrarias;

De donde, sin necesidad de cálculos, se deduce que es decreciente el efecto de la fuerza motriz de la dilatacion en el segundo período, ó sea en el período de la expansion, puesto que ese efecto empieza en una cantidad finita y termina en cero.

## V.

**Mutatis mutandis,** esta máquina rotatoria (conjugada ó no con otra ú otras gemelas, cuyos respectivos émbolos estén implantados sobre el mismo tubo motor, formando ángulos convenientes) puede servir de máquina de comprimir en cuya marcha se note bastante regularidad.

De esta manera, al aumento de la presion

---

(1) Implantando directamente ruedas análogas á las de las locomoras y tranvias en el tubo que hace de árbol motor, estas máquinas rotatorias, bien ejecutadas para asegurar la hermeticidad, serían muy á propósito para la traccion sobre carriles metálicos, etc.

que correspondiera á los incrementos sucesivos de la creciente condensacion gaseosa, correspondería, de un modo inverso, disminucion en las superficies comprimentes.

VI

Claro es que estos aparatos de émbolo elíptico son susceptibles de conjugacion.

Entónces entrarían en ley logarítmica *sui generis*.

Fácil es imaginar los nuevos conductos necesarios á la conjugacion y la alimentacion sucesiva por el eje del aparato, como siempre hueco, aunque con los tabiques convenientes.

La accion conjunta (no conjugada) de aparatos gemelos tendería á la regularidad del movimiento circular contínuo del árbol motor.

Para la conjugacion, un primer aparato de émbolo elíptico trabajaría á presion plena. El gas motor, despues de haber servido así sin expansion, pasaría, por el eje, á trabajar por expansion en otro segundo aparato igual al primero, excepto en la profundidad; la cual habria de ser doble, si no habia intercalares (ó de la magnitud logarítmica correspondiente, caso de haberlos). Del segundo aparato pasaría del gas motor á otro tercero.....

Como se ve, es general el método de hacer entrar en ley logarítmica á cualquier clase de aparatos, así sean aero-motores como de compresion.

# LIBRO V.

## LOCOMOCION INTRATUBULAR.

# CAPITULO I.

## PROPULSION DIRECTA POR EL AIRE COMPRIMIDO.

---

### I.

El aire comprimido no solo resuelve en las grandes poblaciones el problema de la distribucion de la fuerza á domicilio, no solo lleva la fuerza á donde quiera que funcionen aparatos fijos, ó por lo ménos máquinas estables durante cierto tiempo (como los perforadores de un túnel); no solo deja en seco los subterráneos inundados por las irrupciones de las aguas (como los cimientos de puente ó los pozos de mina); no solo compite actualmente con las locomotoras, sino que, entre pobres poblaciones contíguas, cuyo tráfico no baste al sostenimiento de un ostentoso ferro-carril, hará posible el establecimiento de trenes movidos por locomotoras de aire comprimido, aprovechando al efecto cualquier caida local de agua, y contribuyendo en mucho al bienestar de una comarca.

La navegacion dentro de las bahías, aunque extensas como la de Cádiz, ó dentro de los rios adyacentes á grandes poblaciones, como el Támesis y el Sena, podrá tambien verificarse por medio del aire comprimido, si buques á propósito hiciesen en los muelles suficiente provision de fuerza conquistada al mar ó á cualquier gran masa de agua en movimiento.

Y ¿quién sabe? ¿Podrá álguien sostener que sea una utopia la idea de verificar por medio del aire comprimido la traccion en grandes líneas férreas?..... El *échec* en el camino atmosférico de Saint-Germain á París no es una prueba decisiva de absoluta imposibilidad.

La presion atmosférica tiene un límite, del que no se puede pasar en teoría, y al que no se sabe llegar aún en la práctica..... La fuerza del aire comprimido no presenta estos inconvenientes, ni tiene tan reducida limitacion.

### II.

Y ¿quién sabe aún? Tal vez el aire comprimido en exuberante abundancia esté llamado á proporcionar un fantástico y económico medio de propulsion directa, en que no se necesite locomotora de ninguna clase, ni haya que ejecutar costosas nivelaciones ni formidables obras de arte.

De los utopistas se rie el mundo, quien (no obstante esa befa) tiene buen cuidado en regalarse con las utopias, cuando algun soñador, silbado en un principio, obliga con el éxito á la admiracion universal: ejemplo; FULTON.

Sueños realizables, muy realizables acaso, sean fuertes tubos metálicos de $2^m$ de diámetro (ó de más), tendidos en el fondo de los mares, en longitud suficiente á unir costas distantes, como las de (1) Francia é Inglaterra. Sueños, acaso, no imposibles, sean poderosos émbolos que jueguen, sin peligros ni inconvenientes, en tubos de muchas leguas. Sueños, tal vez, coches de viajeros enganchados á esos émbolos, viajando (y siga el ejemplo) alternativamente y sin cesar desde Inglaterra á Francia y desde Francia á Inglaterra, bajo la suave accion del aire comprimido á $\frac{1}{10}$ de atmósfera sobre la presion normal, no solo ricamente iluminados por la luz eléctrica, y llenos de *comfort* para los viajeros, sino tambien acompañados de wagones, cargados, para la Industria, de materias transformables, ó transformadas ya para el consumo. Sueño, acaso no sea, pensar que la fuerza motriz de tan extraordinario movimiento submarino fuesen las atracciones astronómicas del sol y de la luna..... Sueño tampoco, igual locomocion en países montañosos, como las quebradas sierras españolas.....

Y, sin embargo, nadie proclamará la imposibilidad absoluta de utopias semejantes..... En el Canal de la Mancha alcanzan las mareas una altura formidable, y el aire, hasta la densidad de $1^m$ de mercurio, no molesta ni incomoda á quien reside en él (2).

Tal vez conviniera absorber, en tan largo tubo, aire desde Inglaterra, hasta reducir su presion normal á 40 centímetros ó 50, mientras se inyectara á 85 ó 90 desde Francia....., y vice-versa.

Grandes foros celulares podian verificar regularmente esa succion y esa inyeccion, movidos á su vez por las mareas.

## III.

Las invenciones sujetan en muchos casos grandes intereses á enorme perturbacion, que es, sin embargo, como dicen los ingleses, una bendicion disfrazada (A BLESSING IN DISGUISE).

La posesion de nuevas tierras ha sido una necesidad ineludible de las razas superiores de la Humanidad: que las necesidades del Género Humano no se satisfacen nunca, y crecen con lo que las alimenta y con lo que las nutre (3). Pero la conquista de la Madre Tierra es la historia de los triunfos de los

---

(1) La idea de unir á Francia con Inglaterra por medio de un túnel es de un francés. THOMÉ DE GAMOND. La demostracion de la posibilidad es de los ingleses LOW, BRUNLEES y HANKSHAW.

(2) En Boulogne, la marea puede llegar á $9^m$; en Calais á 7; y en Dover á 6.

(3) As if increase of appetite had grown
By what it fed on:
SHAKESPEARE, *Hamlet*.

fuertes y del exterminio de los inferiores; es la historia del robo, del incendio, de la devastacion, de la carnicería; es la historia de la violencia del que triunfa y del dolor del que cae.

¿Sucederá lo mismo con la conquista del Mar?

¡Ah! No.

Esa conquista no requerirá sangre, ni sujetará los intereses creados á ningun trastorno, porque no exige la destruccion de lo existente. Nada costará; y, facilitando medios, contribuirá al fomento y desarrollo universales. De su peso no se alivia el hombre, trasladando, como en tantos casos, carga insufrible desde el hombro derecho al hombro izquierdo, sino trasladando la carga toda entera á fuerzas naturales que hasta ahora no han sufrido el yugo de la Humanidad: la rotacion terrestre, la atraccion luni-solar y la fuerza de la gravitacion.

Lo que falta en el mundo es CAPITAL, FUERZA, y, de ahí, el pauperismo, y el abuso, y la miseria, y la ignorancia, y los males todos, reales ó imaginarios, que han llegado á nuestros tiempos como herencia fatal é ineludible de los siglos de angustias del pasado.

Sí: lo que falta en el mundo es capital, trabajo acumulado: abundancia de produccion. Y ¡el hombre se complace en destruir!

Las guerras últimas de Europa representan la aniquilacion del trabajo anual de 50 millones de operarios.

La civilizacion hoy tiene muy escaso número de trabajadores, y es imprescindible el aumento de las máquinas; porque las máquinas aumentan la poblacion en la forma de esclavos que no consumen los alimentos del hombre, sino otros que el hombre no se puede directamente asimilar; siervos desnudos á quienes, sin embargo, no hay que vestir, cuyo sueño no hay que respetar, y cuyas rebeliones no hay que temer; incansables, robustos, fornidos é incapaces de error.

Y no solo las máquinas aumentan la poblacion, ahorrando los alimentos propiamente humanos y multiplicando el número de los trabajadores, sino tambien economizando tiempo al mover, en pocas operaciones, enormísimas masas, por las fuerzas colosales de que están dotados esos humildes jayanes de hierro y acero que emplea actualmente la industria en las grandes construcciones.

Con la victoria de la inteligencia sobre el músculo, de la máquina sobre la mano, el hombre se dignifica; no porque cese de trabajar, QUE ESA ES SU LEY Y SU DERECHO, sino porque emplea, no sus fibras musculares, que de ellas están dotados tambien los caballos y los bueyes; no su peso, que ese es formidable en las entubaciones hidráulicas; no la combustion del carbono de sus alimentos, que igual combinacion se realiza en los hogares de las máquinas de fuego, sino la fuerza portentosa de la INTELIGENCIA y la energía incalculable de la RESOLUCION.

Pero la maquinaria no será la manipuladora de la Humanidad sino cuando

se apropie fuerzas naturales accesibles y baratas: que ningun mecanismo puede agregar un ápice á la provision de fuerzas telúricas que la naturaleza tiene en reserva, como aguardando á que el hombre de la ciencia las llame á su servicio.

¡Cuánta fuerza perdida! ¡Cuánto tesoro inagotable junto á una pobreza incomprensible!

¡FELIZ AQUEL QUE VENCE Á LA PEREZA!

## IV.

¡Ah! Mucha FUERZA FÍSICA está aún sin recoger; pero eso es nada en comparacion con la FUERZA INTELECTUAL que deja de aprovecharse. ¡Cuánto FARADAY se estará viendo actualmente en la imposibilidad de abandonar su humilde aprendizaje de encuadernador!

Libertar al Hombre de todos los trabajos que las máquinas pueden hacer, es redimirlo y dignificarlo. La conquista de las fuerzas naturales es la libertad de nuestra raza.

## V.

Estas consideraciones y estos sentimientos me han alentado para trasladar mis lucubraciones al papel.

Ahí quedan ya, por si son útiles á álguien.

## VI.

El Autor no tiene voz ni voto en el juicio de su obra (1). Yo ignoro lo que ésta podrá valer; pero, si mi dicha es tanta que resulte realizable la movilizacion de la fuerza del mar, ¡ojalá que sus beneficios favorezcan PRONTO, INMEDIATAMENTE á los que yacen á ciegas en noche de ignorancia; á los que gimen hundidos en el fango de las capas inferiores, por no haber podido rescatarse de la esclavitud de un trabajo muscular propio sólo de las bestias irracionales; á los que no han sido SOLES acaso de la Civilizacion, por haberles el actual órden de cosas robado inícuamente el tiempo que debieron consagrar á su desarrollo, exigiendo de sus manos lo que debió pedir al fuego de su inteligencia y á la inventiva de su Genio!

---

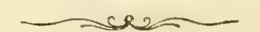
(1) Der Autor hat bei dem Gerichte über seine Werke keine Stimme.

GELLERT.

¡Quién sabe si algun dia, abundando la FUERZA, lista ya para su inmediata utilizacion, nadie pueda tener interés en sostener las desigualdades de clase, las servidumbres de los más, los abusos de los ménos, las prostituciones de los que tienen hambre, las concupiscencias de los que comen mucho, las tiranías de la propiedad, las intolerancias de todos los fanatismos, los ódios internacionales, las diferencias de razas, las depredaciones de las guerras, las miserias, en fin, de todo el Género Humano....., y se verifique en el mundo revolucion tan generosa, que el TRABAJO sea siempre una gran voluptuosidad y la holganza una gran vergüenza....., y cuanto haya en el planeta, y cuanto el hombre produzca sea de todos y para todos,

EN GOCE Y PAZ, FRATERNIDAD Y AMOR.

# APÉNDICE AL LIBRO V.



## ASCENSION INTRATUBULAR.

Muy lejos estaba yo de pensar cuando escribí (hace años) el sistema del capítulo anterior, que las ideas de la locomocion por el interior de tubos de gran diámetro habia de encontrar tan pronta aplicacion, segura y eficaz.

En uno de los pozos, el Hottinguer, de la Compañía de las minas de Épinac (Francia), hay un tubo de 2.000 piés de longitud y 5 ½ de diámetro.

El tubo está formado de lámina de hierro cilindrada. Los trozos son unos 700. Anillos de caoutchouc, convenientemente interpuestos, aseguran la hermeticidad y cierto juego para facilitar las dilataciones y contracciones metálicas dependientes de la temperatura.

El tubo se halla provisto de válvulas, llaves, manómetros, etc., y está asegurado verticalmente al maderámen del pozo. El ascenso ó descenso se verifica en 5 minutos, mediante la fuerza del aire, comprimido junto á la boca de la mina por una maquinita que condensa 36 piés cúbicos por minuto.

El órgano ascensor consta de 2 pistones de igual diámetro, unidos entre sí por un vástago. Sobre el piston superior va la carga de mineral: sobre el inferior van los pasajeros, situados así entre émbolos.

Para que funcione el aparato, no hay más que cerrar el extremo del tubo junto al cual se halla el ascensor, abrir el otro extremo, é inyectar aire comprimido entre el fondo del tubo y el órgano ascensor.

El aparato lleva años de estar funcionando perfectamente, sin que en tan largo tiempo haya necesitado reparacion ninguna.

No hay sistema alguno de cuerdas ni de cables capaz de tomar la velocidad, que, sin riesgo posible, se da al piston; y, por consiguiente, con gran ahorro de combustible se efectúa fácilmente más transporte y en ménos tiempo, y sin el estorbo de los cables y sus tambores y cabrestantes, sin el contínuo peligro y perjuicios que ocasiona la fortuita ruptura de ellos, ó su necesaria reparacion y sustitucion, y con una ventilacion enérgica de la mina. Por supuesto, el peso muerto no aumenta, aunque aumente la profundidad; lo que no es dable con el sistema de cuerdas, etc.

Ahora bien: si es posible que caminen viajeros, ya subiendo, ya bajando, verticalmente, á través de un tubo de más de ½ kilómetro de longitud, ¿qué inconveniente puede haber en que el viaje se alargue á muchos kilómetros en trayecto horizontal?

Este sistema, cuya enunciacion quizás asuste á los no mecánicos, no ha asustado á ingenieros de gran nota.

Yo no sabia, pero es un hecho, que el Señor D. Eduardo Saavedra ha propuesto oficialmente semejante modo de locomocion para parte de los ferro-carriles asturianos.

# RESUMÉN.

# I.

Hallo en el libro de TISSANDIER titulado *La hulla* los siguientes notabilísimos pasajes:

«La produccion de hulla en todo el mundo está evaluada en más de 200 000 000 de toneladas (1).

La civilizacion se sirve exclusivamente del vapor, y cada dia aumenta el número de las máquinas animadas por la combustion del carbon de piedra.

El carbon fósil, pues, constituye la fuerza de las naciones: sin él no hay hierro: sin él no hay armas. El Sur de los Estados-Unidos tenia esclavos de carne y hueso: el Norte tenia esclavos de vapor, y forjas. Por eso el Norte venció al Sur.

Los cascos de los buques no proceden hoy de los bosques actuales: salen de los bosques fósiles, sepultados hace un tiempo fabuloso en las entrañas de la tierra. 60 000 toneladas de hulla han formado el casco del GREAT EASTERN. 30 000 toneladas forman un buque acorazado. Los caminos de hierro han sido producidos por carbon.

El consumo de hulla tiene que ser inmenso: toda máquina de hierro está engendrada por la hulla, y de hulla se mantiene y alimenta. La luz que ilumina nuestras grandes poblaciones sale de las negras entrañas de las minas.

Acaso un millon de hombres está en estos instantes arrancando el carbon fósil del seno de la tierra, y distribuyéndolo por los pueblos civilizados del mundo. El carbon es el pan de la Industria: el diamante negro vale al año más que el oro....., porque es fuerza motriz, es industria, bienestar, progreso y civilizacion. Es triunfo el dia de la guerra.

Pero ¡ay! que el carbon no es inextinguible!

¿Qué será del mundo? ¿Qué será de nuestros descendientes?

Hé aquí una pregunta con gran frecuencia repetida y honda preocupacion.

¿Morirá la actividad humana cuando le falte el negro combustible?

Un grito de desesperacion dice: La duracion de las hulleras, que los geólogos en un principio habian fijado en muchos millares de años, no pasará

---

(1) Hoy se calcula en 285 000 000 de toneladas, como sigue:

| | |
|---|---|
| Gran Bretaña | 133 720 393 toneladas |
| Estados Unidos de América | 60 850 000 |
| Alemania | 42 031 726 |
| Francia | 17 104 845 |
| Bélgica | 15 447 292 |
| Austria | 5 378 604 |
| Los demás países | 10 000 000 |
| | 284 532 860 toneladas |

de 4 siglos; porque el consumo del combustible fósil dobla cada 15 años, y la estadística no deja duda acerca de este dato.

Con el transcurso del tiempo la progresion aumentará; pero, suponiendo que permanezca invariablemente constante, ¿cuándo se agotarán las minas? Sir William Armstrong aseguraba ya en 1863, que dentro de 2 siglos se habria extraido todo el combustible existente en Inglaterra. Sir Roderick Murchison confirmó los cálculos de Armstrong. En Francia, en Bélgica, en Prusia, no pasará tampoco de 2 siglos la explotacion.

En América, en China, existen depósitos colosales del diamante negro.

A 500 años hacen llegar cálculos optimistas la duracion en América.

Respecto á China, hay quien asegura que contiene sepultado un tesoro para 1000 años.....; otros sostienen que ese tesoro sólo bastará para el consumo local.

¡El petróleo! Tampoco durará mucho.

La cuestion es terrible; si nó para la generacion actual, de cierto para los pueblos del porvenir.

Inglaterra, Bélgica dirigen miradas inquietas á sus vastos almacenes subterráneos, y se han impuesto el deber de consumirlos con grande economía, para morir de hambre lo más tarde posible. Utilizan minas mediocres, que hace poco despreciaban: plantean organismos, que son portentos de ingenio, para bajar al mínimum en el costo de la explotacion: hacen prodigios para penetrar más adentro en las profundidades de la tierra, á fin de no dejar nada perdido, nada por utilizar.....

Pero tanta inventiva y perfeccion tanta no impedirán que el carbon fósil vuelva, en forma de ácido carbónico, á la misma atmósfera de donde salió hace millones de años.

¿Qué será del hombre cuando no haya combustible?»

Hé aquí preguntas y temores que Tissandier formula casi en los mismos términos que acabo de trasladar, y á los cuales da respuesta con las siguientes elocuentísimas palabras:

«No hay motivo de alarma respecto al porvenir.

Continuando el hombre su marcha por las vias del progreso, sabrá prescindir del combustible actual, sin descender por eso de su puesto de honor presente, ni degenerar de su actual estado de civilizacion.

Cuando suene la hora fatal, saldrá un Genio á fecundar el campo de los descubrimientos, y otras fuerzas, acaso desconocidas hoy, explotadas hábilmente, reemplazarán mañana la fuerza motriz que actualmente sacamos del carbon.

¿Quién ha dicho que la máquina de vapor es la última palabra de la ciencia, y que nunca vendrán á sustituirla otros motores? ¡Pues qué! ¿No lanza el sol á torrentes rayos caloríficos capaces de mover los pistones de las máquinas

del porvenir? ¿No se halla el mar en nuestras costas sometido al movimiento de las mareas? ¿La oscilacion sucesiva de sus ondas no es una fuerza de prodigio, constante y regular, que el hombre fácilmente puede poner á su disposicion? Si es cierto que un fuego central perpétuo arde bajo la epidérmis de nuestro globo, ¿no puede ese profundo fuego llegar un dia á convertirse en el único hogar de todos nuestros mecanismos? ¿No está el aire en perpétuo movimiento? ¿Y los vientos no son una potente fuerza motriz, siempre dispuesta al trabajo, como un resorte en tension?

Si se hubiese dicho hace un siglo que alambres sumergidos en las profundidades del Océano se convertirían en las fibras nerviosas de los continentes, por cuyo intermedio habian los hombres de comunicarse un dia todos sus pensamientos y sus decisiones todas; si se hubiese afirmado que el sér humano habia de elevarse por los aires más allá de las nubes hasta donde sube el condor, y habia de correr sin cansarse sobre las vias férreas con rapidez mayor que la del ciervo; si se hubiese asegurado que nada igualaría á los dibujos de la luz; que la mujer pariría sin dolores, y que el cirujano amputaría los miembros sin sentimiento alguno del paciente....., el mundo, de cierto, habria tenido por loco al profeta de tales maravillas, compadeciendo al insensato cuya razon se extraviaba hasta el punto de exceder las demencias de los sueños.

Y bien: si hoy un entendimiento perspicaz pusiese á nuestra vista las invenciones que llevarán á cabo nuestros descendientes cuando la hulla les falte, sonreiríamos compasivamente al escuchar la rica enumeracion de las nuevas maravillas.

Y sin duda agregaríamos: «Es IMPOSIBLE la realizacion de prodigios semejantes»: que siempre habrá sabios como Arago cuando negaba los caminos de hierro, é imprudentes como Napoleon I cuando condenaba los barcos de vapor.

Pero, en vez de escarnecer con la incredulidad, fuera más cuerdo considerar que el vocablo IMPOSIBLE ha dejado ya de ser, desapareciendo de la lengua de la industria; que el error de hoy puede convertirse en la verdad de mañana; que la ciencia suele dar realidad á los ensueños, transformando la paradoja en hecho, el prodigio en vulgaridad, la utopia en axioma; y que muy bien pudiera acontecer que nuestros hoy portentosos mecanismos de vapor y nuestros maravillosos telégrafos llegasen en la série de los tiempos á mirarse como objetos de curiosidad histórica, colocados primorosamente en los museos arqueológicos, para patentizar nuestra ignorancia, y demostrar nuestra impotencia á las generaciones adelantadas de los siglos del porvenir.»

## II.

Hasta aquí las magníficas palabras de Tissandier.....

Niño era yo casi cuando ya en mí comenzaba á evolucionarse el gérmen de los nobles presentimientos que acabo de trasladar.

Jóven, me maravillaba el despilfarro inconcebible de la Industria, que deja sin explotacion conocidas y muy potentes fuerzas naturales.

Adulto, llegué á elaborar el íntimo convencimiento de que en el fecundo seno de lo desconocido duermen potencias más portentosas para nuestro siglo que pudieron serlo la electricidad dinámica ó los agentes anestésicos para los hombres del siglo XVIII.

Y, seguro de que un genio, ó, más bien, una pertinaz série de genios, llegará á fecundar un dia el campo de los grandes descubrimientos y de las grandes invenciones sin precedente actual, me afirmé más y más en la persuasion de que los talentos comunes de la época presente, tienen poder sobrado para esclavizar por entero, y hacer completamente suyos todos los motores hoy abandonados por su indómita irregularidad; ó, más exactamente dicho, por su irregularidad no domada todavía.

El flujo y el reflujo de los mares encadenó mi atencion constantemente, y estimuló con pertinacia mi interés.

Y ví que esa potencia inextinguible estaba completamente desdeñada, porque la industria moderna tenia necesidad de una poderosa abstraccion (presentida acaso por el gran genio de Seguin, pero no formulada aún en toda su generalidad).

Hoy la Industria procede en cierto modo como el hombre de Las Pampas en Buenos-Aires, que echa el lazo solamente al caballo cuyos servicios necesita, pero que no se ocupa jamás, como el ganadero de los países civilizados de Europa, en criar caballos que nunca tiene de montar, ni jamás han de tirar de sus carruajes, ni han de irrigar los prados de su hacienda. El ganadero actual ejerce una industria abstracta: la de criar fuerza, que otros deben utilizar.

A toda ponderacion excede la fuerza del Océano; pero el conquistarla requiere la creacion de una industria tan abstracta precisamente como la de ganadero en Europa. ¡Industria generosa é incomparable, emprendida con el fin de recoger la rotacion de la tierra y las atracciones del sol y de la luna, juntamente con la de las convulsiones atmosféricas, para que luego utilicen otros su poder!

Indudablemente hay ejemplos del aprovechamiento de las mareas, en alguna que otra localidad; pero siempre á estilo del gaucho cuando enlaza un potro para la urgencia del momento. En Cádiz hay molinos seculares con rodeznos primitivos: á la desembocadura del Loira se han establecido turbinas muy modernas para achicar el agua de los diques..... Estas tentativas salen bien, porque el motor nada cuesta.....; pero carecen de una condicion esencial de la industria moderna: la MOVILIDAD; la aptitud á instalarse ó utilizarse donde quiera.

El molino á orillas del mar es como la ostra pegada á las rocas oceánicas: no es como el caballo que corre por el valle, trepa á la montaña, trabaja en las profundas sinuosidades de la mina, va con las caravanas del desierto, y anima á las ciudades populosas.

El MAR ha de llevar su fuerza al campo, al monte, á la ciudad....., á donde quiera que una necesidad económica pueda gritar: «¡Venga aquí un motor!»

Y el MAR hace eso, ó seguirá relegado al abandono.

O se forman empresas para recoger su fuerza fabulosa, almacenarla y repartirla,

O seguirá batiendo inútilmente los escollos de las playas.

## III.

¡MOVILIZAR LA FUERZA DE LOS MARES! Esta idea fué mi complacencia durante muchos años.

Pero ¿cómo?

Comprimiendo aire y llevándolo por conductos subterráneos á los talleres de la industria.

Mas esta idea general se encontraba sujeta á dos condiciones inexcusables: la resistencia á toda fractura de los tubos conductores, y su costo.

Por eso mi *desideratum* de la movilizacion se formulaba definitivamente en estos términos:

Es preciso percondensar el aire á gran número de atmósferas;

Es preciso dar de lado á la ley de GAY-LUSSAC;

Es preciso esquivar la ley de MARIOTTE;

Es preciso utilizar toda la expansion del aire comprimido.

Para llevar á la práctica el programa, se me ocurrieron los foros conjugados (si no es que se me presentó el programa, porque ya me habian ocurrido los foros y su conjugacion).

Para darme cuenta de los fenómenos, pensé en la conjugacion de los émbolos: hice sobre éstos mis análisis; ejecuté algunos pobres experimentos con

los foros; y, al cabo, me pareció resuelto el problema por medio de las ideas expuestas en los Libros que preceden.

Los foros son los organismos de mi especial predileccion, por no necesitar superficies torneadas, y ser perfecto el aislamiento de los gases. Las resistencias pasivas son casi nulas en ellos, y el desprendimiento de calor puede reducirse mucho por la lentitud de su marcha y el proceso especial de la percondensacion. Los celulares, ni aun necesitan válvulas.

IV.

No me parece ocioso sintetizar en breves palabras lo esencial de las ideas de toda esta obra, á fin de separar lo principal de lo accesorio, y dar la clave de tantos pormenores.

V.

Esta obra ha tenido por objeto presentar los medios y recursos necesarios:

1.° Para recoger la fuerza de las mareas y la de las olas;
2.° Para transformarla en aire comprimido;
3.° Para conservarla en grandes canalizaciones;
4.° Para conducirla por ellas á donde haga falta;
5.° Para utilizarla en aparatos especiales, fijos ó semovientes.

Estos 5 fines entrañan 2 sistemas:

1.° Uno para recoger la fuerza del mar;
2.° Otro para usarla en aire comprimido;

Lo cual supone:

1.° Conocimiento de las leyes y condiciones de las mareas y de las olas;
2.° Conocimiento de las leyes y condiciones de la compresion y de la dilatacion del aire.

VI.

**Obtencion de la fuerza del mar.**

Las mareas son una fuerza muy irregular: más aún lo son las olas.

De ordinario la diferencia entre las alturas de las crecientes y de las menguantes alcanza muy pocos metros en la mayor parte de las costas; si bien, en sitios muy favorecidos, llega excepcionalmente á 10, 12, 14 y hasta 20 metros, si no á más.

En España, la diferencia media anual, es de $2^{m},70$: hácese, pues, necesario utilizar enormes masas de agua á la presion de solo $1^{m}$.

Para recoger esa fuerza se necesita:
1.° Localidad á propósito;
2.° Maquinaria especial.

La localidad debe ser una ensenada, una caleta, un brazo de mar, una anfractuosidad, en fin, extensa, pero, en general, no indispensable para los usos de la navegacion.

Ha de construirse (como desideratum);

Un malecon rompe-olas;

Una dársena para la maquinaria;

Canales adecuados de ingreso y retrogresion.

El agua, despues de la alta mar, se represará en la ensenada; y, cuando la marea haya bajado $1^{m}$, se dejará que obre sobre la maquinaria hasta el instante de la bajamar.

A la bajamar se dejará vacía la ensenada; y, cuando el Océano haya subido $1^{m}$, la llenará el agua de la creciente, pasando por las máquinas.

A este sistema general se subordinará el agua procedente de las olas.

La maquinaria debe ser tal, que consuma grandes masas de líquido motor á la presion de $1^{m}$ (ó la que resulte más conveniente).

Las máquinas más á propósito serían:

La rueda Sagebien colocada sobre balsas flotantes;

La máquina *à colonne d'eau* horizontal, de múltiples cilindros y de succion pneumática, con cremallera y sector;

Y los aparatos doblemente rotatorios (descritos en esta obra),

De palas móviles,

De palas fijas.

Estos aparatos de succion pneumática, y doblemente rotatorios, habrian de funcionar con suma lentitud para ejercer su accion á estilo de la de la prensa hidráulica.

## VII.

### Transformacion de la fuerza del mar en aire comprimido.

---

La compresion y la dilatacion de los gases por cambios de temperatura, están formuladas en la ley de Gay-Lussac: al comprimirse, calor; al dilatarse, frio.

La reduccion de volúmen de los gases comprimidos, ó su incremento al dilatarse, se verifica con arreglo á la ley de MARIOTTE, cuando no cambia la temperatura.

Comprimir gases es almacenar trabajo; es producir calor, en forma dinámica ó latente, y tambien en forma termométrica y sensible.

Dejarlo dilatar es consumir trabajo: es gastar calor en forma dinámica; y tambien dejar exteriorizar ese gasto en forma termométrica, ó de frio.

La acumulacion de trabajo que se exterioriza en forma sensible de calor, no puede conservarse; porque se disipa siempre por irradiacion. Y, como este calor termométrico altera perjudicialmente la ley de MARIOTTE, el ingeniero debe anularlo á medida de su aparicion; y esto se consigue:

O bien por la lentitud del proceso comprimente, dando tiempo á la natural irradiacion;

O bien, por medio del contacto del gas con cuerpos frios; de lo cual es la pulverizacion del agua el más seguro y eficaz;

O bien, por ambos medios á la vez.

El trabajo que en la dilatacion se gasta en forma de frio, perjudica tambien en gran escala la ley de MARIOTTE, por lo cual el ingeniero debe procurar reponerlo inmediatamente:

O bien con la lentitud de la dilatacion, dando tiempo á los cuerpos circunstantes para reemplazar con su irradiacion el calor perdido por la masa gaseosa en forma termométrica;

O bien, calentandola con la pulverizacion, ú otros recursos;

O bien empleando ambos medios á la vez.

La lentitud y la pulverizacion, pues, deben ser tales, que anulen por completo la ley de GAY-LUSSAC, ó la reduzcan á un mínimum insignificante.

Anulada, pues, esta ley de GAY-LUSSAC en la compresion y dilatacion de los gases, no debe, por tanto, llevarse en cuenta más que la ley de MARIOTTE.

Esta gran ley de la pneumo-dinámica, tratándose de gases estimados como permanentes, debe formularse así:

El trabajo necesario para hacer pasar una masa gaseosa desde una densidad á su doble es una cantidad constante.

De donde se deduce:

1.° Que, si para pasar de $1^{atm}$ á 2, se necesita un trabajo representado por 1, se requiere el mismo trabajo para pasar de $2^{atm}$ á 4; y tambien 1 para pasar de 4 á 8.....; de lo cual resulta la ley que he llamado logarítmica;

2.° Que si se interpolan éntre los términos de la série

$$1 : 2 : 4 : 8.....$$

uno, dos, tres..... términos geométricos, y se forma así una nueva serie, tal como

$$1 : \sqrt{2} : 2 : 2\sqrt{2} : .....$$

entónces, el trabajo necesario para pasar de la densidad expresada por uno cualquiera de estos términos á la densidad expresada por el inmediato siguiente, tambien es una cantidad constante;

3.° Que si la intercalacion no es de términos geométricos, entónces la suma de uno geométrico y sus $n$ intercalares, es igual á la del siguiente geométrico y sus $n$ intercalares respectivos.....

Conocida esta ley dinámica (entrañada en la ley física) fácil es hacer entrar en ley logarítmica á todo género de compresores, y esquivar así los colosales esfuerzos que, hácia el fin de la compresion, requiere la percondensacion de un gas, hecha por el sistema monocilíndrico.

La regla general es la siguiente: Pasar en las mismas condiciones que de 1 á $2^{atm}$, de 2 á 4, de 4 á 8..... Al efecto se requieren compresores especiales susceptibles de conjugacion. (Cabe una intercalacion irregular).

Los compresores pueden ser de 2 géneros:

De émbolos sólidos........................................ [$A$ ]
De émbolos líquidos........................................ [$B$ ]
Y su conjugacion presenta rasgos característicos.................. [$C$ ]

Los aparatos de émbolos sólidos pueden ser de 5 clases:

| | | |
|---|---|---|
| De movimiento rectilíneo alternativo. | Diferenciales.............. | [$A'$ ] |
| | Simplemente escalonados.... | [$A''$ ] |
| | Mixtos.................... | [$A'''$] |
| De movimiento circular contínuo.... | Palas fijas................ | [$A^{IV}$ ] |
| | Émbolo elíptico............ | [$A^{V}$ ] |

Los aparatos de émbolos líquidos pueden ser de dos clases:

| | | |
|---|---|---|
| De movimiento circular............ | alternativo................ | [$B'$ ] |
| | contínuo................... | [$B''$ ] |

[$A'$].

Los aparatos de émbolos sólidos, diferenciales, y de movimiento rectilíneo alternativo, son:

Séries de cilindros,

Todos de igual altura,

Cuyas bases están entre sí en razon geométrica decreciente,

Que van seguidos, ó no, de otros cilindros intercalares,

Que se alimentan inmediatamente unos de otros.

En cada cilindro (ó bien, en cada cilindro y sus intercalares, cuando los hay) se verifica el tránsito de una densidad á su doble,

Bajo la accion del mismo peso en cada momento homólogo;

Andando el mismo camino;

É invirtiendo el mismo tiempo.

Para esto, en el cilindro mayor (ó en el cilindro mayor y sus intercalares, cuando los hay) se hace el tránsito desde la densidad de $1^{atm}$ á la de 2: en el cilindro siguiente geométrico (ó bien, en este segundo y sus intercalares) se verifica el tránsito de 2 á $4^{atm}$;..... alimentándose, por consiguiente, los cilindros (y sus intercalares, desde el segundo geométrico inclusive), con el aire condensado, recondensado, y percondensado, respectivamente, por su inmediato anterior. (Puede ser irregular la intercalacion).

En estos aparatos diferenciales, el almacenaje se hace á costa del auxilio atmosférico, y es simultáneo de la condensacion.

El trabajo es siempre creciente: un plano suavemente inclinado representa este trabajo diferencial. Miéntras más intercalares hay, más tiende el plano á la horizontalidad, sin poder llegar jamás á ella (1).

El uso de los intercalares sólidos tiene por límite el momento en que sus grandes resistencias pasivas compensan sus ventajas.

Los esfuerzos guardan la misma relacion en un solo cilindro que en varios diferencialmente conjugados (cuando la intercalacion es regular).

[*A''*].

Los aparatos simplemente escalonados y de movimiento rectilíneo alternativo, son:

Séries de cilindros,

De igual altura,

Cuyas bases están entre sí en razon geométrica,

Que van seguidos, ó no, de otros cilindros intercalares,

Que se alimentan (desde el segundo en adelante) con el aire comprimido por su inmediato anterior;

Pero que no efectúan esta alimentacion directamente, sino por el intermedio de almacenes interyacentes.

Cada cilindro, en su trabajo individual, sigue las leyes del sistema monocilíndrico.

---

(1) En rigor, el símbolo gráfico, no es un plano, sino una curva muy poco diferente de un plano.

Pero su conjugacion (1) entra en ley logarítmica.

El conjunto del trabajo de la conjugacion consta de 2 períodos:

Uno de trabajo creciente;

Otro de trabajo constante.

Un plano ascendente, seguido de otro horizontal, representa el trabajo logarítmico de esta conjugacion.

El auxilio atmosférico favorece á la potencia en los 2 períodos (creciente y constante);

Pero no alcanza, por sí solo, á realizar el almacenaje.

Este almacenaje, en el sistema escalonado, no es simultáneo del proceso de la condensacion, sino posterior á él.

[$A'''$].

Combinando un sistema de émbolos diferenciales con otro de émbolos escalonados pueden obtenerse, con movimiento rectilíneo alternativo, sistemas mixtos, cuyas variantes son fáciles de calcular.

[$A^{\text{IV}}$].

Los aparatos de movimiento circular contínuo, y palas fijas pertenecen al sistema escalonado, y son:

Aparatos doblemente rotatorios,

Decrecientes en razon geométrica, con, ó sin, intercalares.

Los cilindros gemelos son iguales en diámetro en cada aparato sucesivo, doblemente rotatorio: sólo el largo de las palas varía en razon geométrica.

La teoría de estos aparatos doblemente rotatorios del sistema escalonado, es casi la misma que la de los cilindros del propio sistema.

Pero los esfuerzos pueden repartirse mejor, implantando las palas de manera que, cuando unas estén en el período de trabajo creciente, otras estén en el de trabajo constante.

Los almacenes interyacentes (así de los cilindros como de los aparatos doblemente rotatorios) del sistema escalonado presentarán grandes superficies metálicas de irradiacion, que podrán cooperar enérgicamente á la anulacion de la ley de Gay-Lussac.

[$A^{\text{V}}$].

El aparato de émbolo elíptico (más propio para aero-motor que para compresor) tiene el movimiento circular contínuo, y, como los émbolos diferenciales, presenta menor superficie á medida que crece la condensacion;

---

(1) Sin perjuicio de resumir luego en su especial seccion los rasgos característicos de la conjugacion de toda clase de compresores, conviene no dejar pasar la ocasion de exponer, cuando se trate de una clase en particular, lo más íntimamente ligado con su especial conjugacion.

La curva de su trabajo ès irregular;

Pero estará próximamente representada por una horizontal la accion conjunta (no conjugada) de motores rotatorios gemelos de émbolo elíptico.

[*B*].

El 2.° género de compresores es el de los émbolos líquidos;

Estos aparatos son los foros;

Los foros estudiados en esta obra son los espacios comprendidos entre 2 cilindros concéntricos de radios diferentes;

Todos los foros son aparatos diferenciales.

Se dividen en 2 clases:

Foros de movimiento circular alternativo........................ [*B'* ]

Foros de movimiento circular contínuo (estos son siempre celulares)... [*B''*]

El estudio de los foros exige el conocimiento prévio del sistema de la inmersion.

El sistema de la inmersion, aunque susceptible de grandes aplicaciones, se imita en esta obra á las que requieren los foros, especialmente los celulares.

[*B'*].

Los foros de movimiento alternativo se subdividen en

Foros simples,

Foros helicoidales.

Los foros helicoidales no se diferencian de los simples en su esencia, sino en el modo de obtener los efectos propios de una determinada altura de líquido compresor.

En el foro simple la columna compresora está formada por un solo semi-anillo líquido contínuo y homogéneo, de gran diámetro relativo.

En el foro helicoidal puede tambien estarlo; pero se obtiene el mismo resultado que produciría una sola semi-espira compresora de gran diámetro (acaso imposible) con la alternacion de semi-anillos de 2 líquidos distintos, muy diferentes en densidad (mercurio y agua), y de pequeño diámetro relativamente, cuya accion compresora (cuando, girando el foro helicoidal, salen de su posicion de equilibrio) se transmite de unos semi-anillos á otros, acumulándose en el último semi-anillo hidrargírico, no solo su eficacia propia, sino tambien la de todos los demás.

Pero, aunque no difieran en lo esencial, los foros helicoidales presentan, respecto de los simples, dos caracteres de un género especial:

1.° Cuando el foro helicoidal no contiene más que una semi-espira de líquido compresor, puede ejecutar con suma lentitud el mismo trabajo que un grande y voluminoso foro simple no podria ejecutar sino por medio de engranajes en el mismo tiempo: son un modo nuevo de ahorrar en fuerza lo que se pierde en tiempo;

2.° Las resistencias de los materiales limitan las dimensiones de un foro simple, más allá de las cuales no es posible pasar, atendiendo, por otra parte, á lo *encombrant* de un aparato gigantesco; pero no hay limitacion de ninguna clase respecto á la carga hidrargírica (ó sea á la altura compresora motriz) con los foros helicoidales de múltiples columnas alternadas de mercurio y agua.

El aire es comprimido en los foros simples y helicoidales, imprimiendo á estos aparatos un movimiento de rotacion alternativo: el tabique ó superficie compresora obliga al aire, aunque comprimido, á que, por efecto de su impenetrabilidad, deprima al líquido, y levante el centro de gravedad de todo semianillo que forme la columna compresora; lo cual no puede conseguirse sin que el gas disminuya de volúmen, aumentando en densidad.

Así, pues, la fuerza necesaria para comprimir un gas dentro de un foro simple, es igual á la que saque de equilibrio el centro de gravedad del semianillo líquido; y, tratándose de foros helicoidales de multiples columnas líquidas, será igual á la que eleve fuera de su centro normal de gravedad al conjunto de los semi-anillos compresores de líquidos alternados.

En los foros simples y en los helicoidales hay dos períodos sucesivos:
El uno de condensacion;
El otro de almacenaje.
La succion es simultánea de ambos.

El primer período, ó sea el de la condensacion, es diferencial *sui generis*, porque el líquido se deprime miéntras comprime el gas.

El segundo período, ó sea el del almacenaje, corresponde al sistema monocilíndrico.

El esfuerzo necesario para mantener un simple foro en su posicion de almacenar, es igual próximamente á

(Peso del semi-anillo líquido $\times$ 0,32 de la diferencia de niveles).

La múltiple accion de los semi-anillos compresores de un foro helicoidal de columnas múltiples tiene por fórmula:

(Peso de cada semi-anillo compresor
× por el número de ellos
× 0,32 de la diferencia de niveles)
— (peso de cada semi-anillo hidráulico transmisor
× número de ellos
× 0,32 de la diferencia de niveles).

Esta múltiple accion del conjunto de semi-anillos compresores en un foro helicoidal durante el período de la condensacion, es una ACCION CONJUNTA, pero no es una CONJUGACION verdadera de muchos aparatos individualmente distintos: es sólo equivalente á la de un foro simple cuya altura compresora igualase á la de todos los semi-anillos del foro helicoidal:

Ni tampoco esa ACCION CONJUNTA puede entrar en ley logarítmica durante el almacenaje, por corresponder éste al sistema monocilíndrico en todo foro helicoidal.

Los esfuerzos sucesivos en un foro simple ó en uno helicoidal están siempre en razon directa de las presiones.

Pero, CONJUGANDO varios de estos aparatos, de modo que las profundidades se hallen en razon geométrica, y el segundo se alimente con el aire condensado por el primero, el tercero con el aire recondensado por el segundo....., entónces estos foros entran en LEY LOGARÍTMICA.

Esta CONJUGACION mejora la ley logarítmica correspondiente al sistema de cilindros escalonados cuyas bases son : : ..... : 4 : 2 : 1; por ser esencial á la conjugacion de foros simples el empleo de foros intercalares.

Sin embargo, pueden obtenerse sistemas conjugados, DOBLEMENTE DIFERENCIALES, en que se reduzca el número de los haces al mismo que sería necesario si la compresion se realizase con cilindros diferenciales en razon geométrica. Al efecto, se hará uso á la vez de foros simples y de foros helicoidales, en que el número de semi-anillos compresores hidrargíricos esté en razon inversa del decremento de las profundidades (y, más en general aún: en razon inversa del decremento de las capacidades).

Tambien por medio de foros helicoidales pueden formarse sistemas mixtos del método doblemente diferencial y del sencillamente diferencial *sui generis* propio de los foros simples y helicoidales.

Se ve, pues, que cuanto puede realizarse por medio de los sistemas cilíndricos, puede realizarse tambien, y con ventaja, por medio de los foros, y sus haces, del movimiento circular alternativo.

[$B''$]

La 2.ª clase de los foros es la de los foros de movimiento circular contínuo, todos celulares.

Estos se subdividen en

Foros sin branquias,

Foros branquiales.

En todo foro celular cada celda tiene tres períodos sucesivos y distintos:

Uno de succion de aire,

Otro de condensacion del aire aspirado,

Y otro de almacenaje.

El período de succion dura en los foros sin branquias $\frac{360^\circ}{\text{número de celdas}}$;

En los foro branquiales dura algo más.

En toda clase de foros celulares, condensacion y almacenaje duran 180°.

Siendo, pues, sucesivos estos 2 últimos períodos, el almacenaje tiene que ser intermitente en cada foro; y, en efecto, cada 360° se interrumpe tantas veces como celdas tiene el foro.

La condensacion del aire en cada celda se verifica con arreglo al sistema de la inmersion: lo mismo el almacenaje.

Cuando un vaso, cerrado por todas partes ménos una, se sumerge con la abertura hácia abajo en un líquido cualquiera, el gas existente dentro del vaso se comprime diferencialmente, segun ley especial.

De donde resulta que:

Durante el período de la condensacion penetra en el interior de cada celda una gran masa del líquido compresor, la cual AUXILIA con su peso la accion de la potencia; pero, cuando llega el período del almacenaje, aunque continúa entrando el líquido compresor, cesa el AUXILIO; porque, para que éste exista, ha de estar más alto el nivel del líquido en la celda que la cuerda del llamado «segmento neutro»; y, desde que empieza el almacenaje, el nivel y esa línea se confunden.

Como el almacenaje es intermitente, y siempre en cada foro hay varias celdas condensando, el conjunto de las masas que favorecen la potencia ofrece 2 períodos:

Uno diferencial decreciente,

Otro creciente no diferencial.

Resulta, pues, que el trabajo necesario para mantener un foro celular en posicion de que funcione, es igual á

(Peso del semiforo compresor
$\times$ 0,32 de la diferencia de niveles)
— (importe del auxilio hidráulico).

Y, en general, si el auxilio se destina á vencer resistencias pasivas, el trabajo será real y efectivamente

Peso del semi-anillo $\times$ 0,32 diferencia de niveles.

Los foros celulares pueden admitir una ligera modificacion que anticipe y alargue el período de su alimentacion: cuando tienen branquias.

Las branquias pueden ser: INTERNAS, LATERALES, y EXTERNAS,

Cada género de branquias tiene sus ventajas: en general, las mejores resultan ser las branquias externas.

Si los foros branquiales trabajan en estanques de gran profundidad, forman lo que he llamado norias de compresion, que no requieren válvulas.

Si las celdas se hacen articuladas, aumenta la semejanza con una noria, pues las celdas se convierten en arcaduces invertidos.

Pueden, por último, los recipientes que constituyen los estanques, girar con los foros mismos branquiales. Entónces se hermanan las 2 teorías de los foros celulares y del sistema de la inmersion (exceptuando el período de la alimentacion, que se alarga un poco).

Tampoco es necesario el empleo de VÁLVULAS NINGUNAS.

Y la resistencia es una cantidad CONSTANTE, sujeta sólo á PALPITACIONES.

Los foros celulares pueden conjugarse, y los branquiales por consiguiente.

Su CONJUGACION mejora la mejora que de la ley logarítmica se obtiene con los foros simples y helicoidales; porque las masas auxiliares que penetran en las celdas favorecen considerablemente la accion de la potencia.

Pero la eficacia de este auxilio, que siempre existe, disminuye cuando aumenta el número de los foros celulares que entran en conjugacion.

[*C*].

Todos los compresores descritos en esta obra tienen un carácter que les es peculiar y característico: LA CONJUGACION. Miéntras no se conjugan, los esfuerzos están en razon directa de las presiones, así sean diferenciales los aparatos, como dejen de serlo. Pero, no bien entran en conjugacion, ya les es aplicable la ley logarítmica.

La ley logarítmica, pues, supone multiplicidad de compresores geométricos: por lo ménos 2.

No debe confundirse la idea de ACCION CONJUNTA de aparatos GEMELOS con la idea de CONJUGACION de aparatos DISTINTOS.

La idea de CONJUGACION debe tomarse en un sentido lato, para que no entrañe la idea de SIMULTANEIDAD PRECISAMENTE EN ACTO: basta que la presuponga EN POTENCIA.

Dos compresores que, trabajando simultáneamente, entrarían en ley logarítmica, continúan en ella, si trabajan sucesiva ó separadamente.

Y la disciplina y ventaja del procedimiento estriba en trasladar al principio de la condensacion las enormes resistencias finales que por el sistema monocilíndrico se presentan en la compresion de cualquier gas considerado permanente. El resultado es la tendencia á la igualacion de los esfuerzos iniciales con los finales.

Motores pequeños (relativamente) trabajando de contínuo con toda su potencia pueden realizar lo que de otro modo requeriría, para pocos instantes, la potencia de un colosal motor.

Es condicion inexcusable para entrar, con foros, EN LEY LOGARÍTMICA, mejorándola, presuponer la accion compresora desde un aparato á otro por el intermedio de gases, ya condensados, bicondensados..... ó percondensados. Si el aire ya condensado por un primer foro helicoidal sirve de alimento y materia de recondensacion á un segundo foro helicoidal; y el aire de esta recondensacion sirve de alimento y materia de percondensacion á un tercer foro helicoidal....., entónces, los esfuerzos necesarios para mover el total de foros helicoidales entrará en la ley logarítmica, de los cilindros simplemente escalonados.

Lo mismo si se tratase de foros simples y de foros celulares.

Lo que entra en esta LEY LOGARÍTMICA, no es, pues, el procedimiento de la condensacion dentro de cada foro, ni el de su ACCION CONJUNTA con otro foro gemelo para hacer desaparecer las PALPITACIONES, sino la disciplina especial en capacidades geométricas inversas de las densidades gaseosas de la bicondensacion, tricondensacion..... y percondensacion por medio de muchos foros sucesivos, de cualquier clase que sean, alimentados, mediata ó inmediatamente, con el aire comprimido por su antecesor contíguo, á contar desde el segundo en adelante.

Por medio de la CONJUGACION, se acumula en el segundo foro á la fuerza de su líquido compresor la fuerza compresora del líquido del primero; al tercer foro se agrega la fuerza de los dos anteriores; al cuarto la de los tres primeros.....; y así sucesivamente: de manera que en el último semi-anillo líquido, por efecto de estas transmisiones sucesivas, se reune toda la potencia de todos los semi-anillos anteriores; igual, por tanto, á la de una sola columna líquida, cuya altura fuese la suma de todas las diferencias de los niveles libres del conjunto de todos los semi-anillos compresores.

Este modo de ACUMULAR ALTURAS es ilimitado, y pudiera exceder á la de muy altas montañas.

Hay, pues, 2 modos de acumular alturas:

1.° Por medio del aire comprimido, transmitiéndose las presiones en muchos foros sucesivos (simples, helicoidales ó celulares) construidos con arreglo á la ley logarítmica;

2.° Por medio de un solo aparato helicoidal, de muchas semi-espiras de mercurio y agua, todas de la misma seccion, y, por consiguiente, incapaces de entrar en ley logarítmica, puesto que los esfuerzos necesarios para sacar de equilibrio simultáneamente sus centros de gravedad, estará siempre en razon directa del número de los semi-anillos.

La conjugacion de los foros simples y la de los helicoidales (que, por su movimiento alternativo, se asemejan, en su proceso del almacenaje, al sistema monocilíndrico) puede estar representada por un plano ascendente, seguido de otro horizontal.

La conjugacion de los foros celulares (que tienen el movimiento circular contínuo, y que en su proceso de condensacion y almacenaje se asemejan al sistema de la inmersion) está sujeta á solo pequeñas PALPITACIONES en su intensidad.

Estas palpitaciones dependen de la eficacia del AUXILIO que prestan á la potencia las masas auxiliares, el cual no es constante, puesto que tiene 2 períodos:

Uno diferencial decreciente,

Y otro creciente no diferencial.

Pero hasta la desigualdad de estas palpitaciones desaparece (casi) cuando en ACCION CONJUNTA (no CONJUGADA) se encargan de llevar cada densidad á su doble, 2 foros gemelos de 12 celdas cada uno, la proyeccion vertical de cuyos tabiques se cruce, formando un ángulo de 15°.

Esta igualacion en la intensidad de las palpitaciones, hace que la resistencia sea una CANTIDAD CONSTANTE, no sólo en cada par de foros dodeca-celulares de ACCION CONJUNTA, sino en la CONJUGACION de muchos pares de los de ACCION CONJUNTA.

Por consiguiente, un plano horizontal ligerísimamente undulado, como las mesetas llanas de una comarca elevada sobre el nivel del mar, viene á representar la resultante, tanto de la ACCION CONJUNTA como de la CONJUGADA de los foros dodeca-celulares de cualquier sistema, y especialmente de los del sistema branquial.

## VIII.

## Conservacion de la fuerza transformada en aire comprimido.

En una gran canalizacion.

## IX.

## Movilizacion de esta fuerza transformada.

Por medio de la misma canalizacion, y de tuberías subalternas y accesorias, que lleven el aire hasta

Aparatos fijos,

Aparatos semovientes.

## X.

## Consumo ó utilizacion de la fuerza transformada.

Los mismos compresores anteriormente enumerados pueden convertirse en máquinas aero-motoras, mediante el juego conveniente de válvulas especiales. En los sistemas cilíndricos las válvulas están en el interior de los vástagos de los émbolos; vástagos que son tubos huecos y cilíndricos.

Así, pues, puede haber aero-motores de 2 clases:

- De émbolos sólidos..
  - Sistema diferencial.
  - Sistema escalonado......
    - Por medio de cilindros.
    - Por medio de aparatos doblemente rotatorios de palas fijas.
  - Sistema de áreas crecientes.
    - Por medio de émbolos elípticos.
- De émbolos líquidos.
  - Sistema celular en general.
  - Sistema branquial.......
    - De branquias internas.
    - De branquias laterales.
    - De branquias externas.

El carácter distintivo de todos estos aero-motores es que no pueden funcionar sino utilizando la expansion: los celulares sin saltos y en absoluto. (Se entiende anulada en todo caso la ley de Gay-Lussac, ya por medio de la lentitud, ya por medio de la pulverizacion ó de otro medio calefaciente, ya por medio de ambos procedimientos á la vez.)

En los celulares la potencia es constante y sujeta sólo á leves palpitaciones.
En los branquiales sólo hay necesidad de una válvula de distribucion.

## XI.

Estos organismos:
Cilindros conjugados y
Foros,
Y con especialidad estos, son susceptibles de grandes aplicaciones, tales como á máquinas pneumáticas, bombas aspirantes é impelentes, ventiladores, fuelles hidráulicos, máquinas de guerra, propulsores para la navegacion, etc.

Además, algunas de sus teorías son aplicables á la expansion de los vapores poco permanentes, y con mayor especialidad á la expansion del vapor del agua.

Motores distintos que la marea pueden hacer funcionar los émbolos y los foros. Para el caso de haberse de comprimir el aire en cilindros diferenciales por medio de la fuerza del vapor, se han estudiado los organismos manivela-biela, y manivela curva con biela de bastidor.
A su vez el organismo manivela-biela, movido por un sector, resulta felizmente aplicable á los motores hidro-pneumáticos de cilindro horizontal.

## XII.

No sólo á estas aplicaciones debe destinarse el aire comprimido, sino á la construccion de nuevos malecones, nuevas dársenas, canales y demás obras hidráulicas, á fin de que no quede en las costas cala, ensenada, seno ni anfractuosidad inútil sin utilizacion.

El hombre, así, se servirá poco á poco de las fuerzas mismas del mar, para ir apoderándose insensiblemente de toda la energía del hasta ahora indómito gigante.

Hoy no son esclavos nuestros más que el vapor y la electricidad.

Pero podemos aumentar nuestra servidumbre con nuevos colaboradores ¡inmortales!

A la obra, pues.

La inmensa fuerza de la rotacion de nuestro globo,
Las atracciones perpétuas de los luminares del dia y de la noche,
Y las convulsiones incesantes de la atmósfera,
Están ahí aguardando á que la ciencia les diga con resolucion:
«Venid á mi servicio.»

Esas atracciones producirán flujos y reflujos en el mar;
El mar moverá los foros;
Y la gravedad transformará ese movimiento en aire comprimido (1).

---

(1) Experiment can only conduct to certainty.

# POST-SCRIPTUM.

Como se dice en el prólogo de esta obra, se ha invertido tanto tiempo en su impresion, que hoy, al terminarla, son ya del pasado muchos de los sucesos previstos en el texto como del porvenir; en prueba de lo cual, y, para no citar más que un solo ejemplo, habrá observado el lector que en varias partes se habla del túnel del San Gotardo cual correspondia á una empresa no terminada aún; siendo así que el feliz encuentro de sus dos largas galerías es ya un triunfo científico más, correspondiente á la historia de las grandes construcciones.

Tan acelerada es la marcha de la invencion, que nada raro hubiera sido que algunas de las noticias ó de los progresos citados en la obra resultasen ahora, al cabo de tres años, abandonados por viejos; pero, afortunadamente, ningun hecho reciente ha venido á comprometer las doctrinas ni las enseñanzas que, de lo conocido hace tres ó cuatro años, era lícito deducir.

Hay, sin embargo, no poco que ampliar; y hé aquí por qué ha parecido de oportunidad y conveniencia (aunque verdaderamente sea innecesario para los que siguen el rápido viajar de la inventiva) agregar algunos datos más á los consignados en el texto, á fin de que toda clase de lectores esté al corriente de lo último que se ha publicado respecto á las materias tratadas en los libros anteriores.

# Addenda.

---

## I.

La idea de utilizar la fuerza del mar en el sentido propuesto en esta obra, ha ocurrido á otros pensadores.

**A la nota pág. 7; y á la pág. 168; página 230, VI; y al apéndice II, pág. 732.**

El Rev. E. Ledger, profesor de astronomía en Gresham, recomendaba en el Observatory de Enero de 1880 la conversion de la energía de las mareas en aire comprimido ó en electricidad.

Hé aquí cómo:

Hay buenos motivos para pensar que todavía se halla lejos el instante en que empiece á faltarnos el carbon fósil á que el comercio de Inglaterra debe su supremacía en el mundo. Sin embargo, bien merece alguna consideracion semejante eventualidad, cuya absoluta certidumbre hay que admitir. Por ahora no se ven señales de alza en el precio del carbon, ni hay por qué presumir deficiencia inmediata en los depósitos, comparada con la demanda; pero, mucho antes de que se agote el tesoro de nuestras minas, habrá de

sufrir alza irremisiblemente el costo de la produccion, por tener que descender el minero á mayores profundidades para lograr el combustible; y, en tal caso, un aumento muy moderado en la demanda acrecerá extraordinariamente el precio en venta del carbon. Recordemos los precios á que el carbon se vendia hace 4 años ó 5 (casi doble entónces que ahora) y echarémos de ver cuán pronto la escasez de la produccion carbonífera, ó el agotamiento de las hulleras, encareceria el precio del combustible.

Y, no es de confiar que la importacion pudiera cubrir las bajas de nuestros distritos mineros..... Aun en nuestra misma Inglaterra, hoy el porte del combustible encarece tanto el precio de los productos elaborados por su agencia, que siempre resulta más barato el que la manufactura vaya á buscar el carbon que no el que el carbon vaya á buscar la manufactura.

Es, pues, de altísima importancia el estudiar desde ahora cuál agente haya de sustituir á la energía que utilizamos en el carbon; y es un deber de los hombres de ciencia el poner al alcance de los hombres de la práctica todas las fuerzas que ahora están sin uso, ó que, usándose muy poco, se nos ofrecen dadivosamente por la naturaleza en pródiga profusion.

Probablemente dentro de poco se utilizará en grande la electricidad como motor secundario, empleo mucho más propio que el de su transformacion en luz, por mucho que haya sido el éxito de las últimas formas de alumbrado. Pero, para producir electricidad se necesita gran fuerza motriz; pues, si el conducirla ofrece dificultad, mucho más presenta el generarla.

Se ha propuesto la utilizacion de la inmensa energía del Niágara para la génesis de la electricidad; y, generada, repartirla por todo el Canadá y los Estados-Unidos.

Así, tambien, la maquinaria de la América del Sur podria ser movida por las grandes cataratas del Potaro, en la Guyana inglesa, poco conocidas aun, pero que bien lo merecen, como rivales dignas del Niágara. Las del Potaro caen de 822 piés de altura, con un ancho de 369 y un espesor de 15 piés en el estiaje, por 20 durante la estacion de las lluvias.

En Inglaterra no tenemos ninguno de estos inmensos almacenes de energía; pero, al igual de otros países, poseemos uno cuya importancia excede á toda ponderacion. Bien, pues, puede formar parte de una conferencia astronómica el intento de impresionar profundamente al público con lo colosal de la energía residente en la marea, debida en parte á la accion del Sol, y á la de la Luna en más del doble. Además de los movimientos de las aguas en nuestros rios de marea, contamos en todo nuestro litoral con una cantidad increible de fuerza, que bien puede hacernos bendecir lo valioso de esta posicion insular, tan útil para nosotros por otros motivos muy diferentes en la historia de nuestro pasado.

La utilizacion de la energía de la marea corresponde al ingeniero. Al astrónomo toca únicamente precisar las épocas de las pleamares y de las bajamares, así como su altitud y ocurrencias extraordinarias y de excepcion, en cuanto dependa de los lugares del sol y de la luna, y de sus distancias en el perigeo y el apogeo, así como de la inclinacion de la órbita lunar. Y, si se inventan disposiciones mecánicas propias para conquistar la energía de las mareas, habrá de ser de grandísima importancia la seguridad de las predicciones astronómicas.

Empleando apropiada maquinaria podrá aprovecharse tanto la creciente como la menguante, y de este modo generarse electricidad en cantidad casi ilimitada; que, distribuida luego por medio de adecuados conductores, como se ha propuesto para las Cataratas del Niágara, llevaria la fuerza á todas partes.

Pero, á mi entender, hay un medio mucho más simple y probablemente más práctico de aprovechar esas fuerzas grandiosas que el Sol y la Luna traen hasta nuestras mismas puertas, y es el destinarlas á comprimir aire en vastos almacenes, desde los cuales pueda ser distribuido luego hasta largas distancias, con el solo gasto, pequeño relativamente, de la instalacion de las tuberías.

Es sabido que las máquinas del San Gotardo funcionan con la agencia del aire préviamente comprimido por máquinas hidráulicas establecidas á las dos entradas del gran túnel. Yo he visto funcionar perforadoras iguales á las del San Gotardo en una mina de Yorkshire, en virtud del aire condensado por una pequeña catarata próxima á la boca de la mina.

Una gran ventaja inherente al uso del aire comprimido es la ventilacion producida por

el aire puro que sale de la maquinaria despues de haberla puesto en movimiento.

Además, el aire comprimido tiene la inapreciable ventaja de ser transportable en receptáculos convenientes..... A la caldera de una locomotora puede, pues, sustituir un cilindro ó un juego de cilindros, ó de recipientes de otra forma adecuada, llenos de aire comprimido en cantidad suficiente para un moderado trayecto.

Quizá no pueda el aire recondensado por la marea rivalizar con el vapor generado por el carbon fósil en el hogar de nuestras locomotoras; pero seguramente bien cercano se halla el dia en que el aire comprimido será el agente motor en nuestras grandes factorías y en la pequeña industria urbana.

Y entonces veremos que la Luna es una bendicion para la tierra, si solamente ahorra de lenta y dolorosa destruccion el gran número de caballos que tira de nuestros ómnibus y trabaja en nuestras tranvias (pobres animales que no duran arriba de 4 años en tan fatigosa ocupacion).

A intérvalos de unas cuantas millas en cada pueblo, ó en cada carretera, habria estaciones para suministrar á los carruajes el aire comprimido por el Sol y por la Luna, mediante el agua de la marea. Dada vuelta á una llave, cada vehículo particular almacenaría la fuerza necesaria para su viaje, y, así, podria eludirse en la traccion el empleo de los caballos. En cada casa otra llave suministraria la fuerza motriz allí necesaria; y el progreso de la ciencia astronómica se aceleraria indudablemente por el interés que á lo largo y á lo ancho de nuestras islas experimentariamos todos en conocer los movimientos y la influencia de los dos grandes luminares.....

### A las mismas páginas.

Mr. Delaurier estima que debe utilizarse antes la fuerza de las olas que la del flujo y del reflujo, porque esta exige depósitos y construcciones costosas, y dice:

«Existe una fuerza de las más poderosas, que se deja perder, mientras que todos los dias las minas de hulla se agotan, ó se hacen más peligrosas y más difíciles de explotar, lo cual aumenta el precio de la extraccion.

Esta fuerza inmensa, miriadas de veces mayor que la de todas nuestras máquinas de vapor juntas, de todos nuestros caballos, de todos nuestros molinos de agua y de viento, que creará riquezas incomparables, es la fuerza de la agitacion de las olas.....

Con la fuerza de las olas se podrán alumbrar gratuitamente las orillas de los mares, y con tanta mayor intensidad, cuanto mayor sea la furia de la marejada.....»

### A la nota 2, pág. 183.

Como prueba de la ninguna esperanza de que se ahorre combustible y de la necesidad urgentísima de buscarle fuerzas que le auxilien ó sustituyan en cuanto fuere posible, puede citarse el colosal aumento de los caballos-vapor y las locomotoras en estos últimos años.

El Dr. Engel dice que:

| | | |
|---|---|---|
| En los Estados-Unidos hay | 7 | millones caballos-vapor. |
| Inglaterra......... | 7 | |
| Alemania.. ...... | 4 | |
| Francia.... ...... | 3 | |
| Austria........... | 1½ | |
| *Total* .... .... | 22½ | |

En esta cifra no se incluyen 105 000 locomotoras de la fuerza de 30 millones de caballos.

Como se ve, falta, segun por desgracia acontece siempre, la estadística de España.

## II.

La baratura de la utilizacion de la fuerza motriz de la marea no aparece aun disputable, atendiendo á los nuevos datos que suministra la comparacion entre el costo de los motores de vapor y los de agua.

**A la pág. 174.**

G. Lestang, en el Moniteur industriel, como resultado de muchas experiencias, en cuya enumeracion no entro, halla que, en muy buenas condiciones,

| | |
|---|---|
| 1 Caballo-vapor, trabajando 12 horas, cuesta por año.......... | 249fr,62 |
| 1 Caballo-vapor, trabajando 24 horas.. ... . ... . ........ ... | 466 ,62 |
| 1 Caballo-hidráulico, trabajando 12 horas, cuesta al año, despues de trascurridos los 20 primeros años de la instalacion hidráulica.................. | 103fr,75 |
| 1 Caballo-hidráulico, trabajando 24 horas.................... | 150 |
| 1 Caballo-hidráulico, durante los primeros 20 años de la instalacion hidráulica, cuesta al año, si trabaja 12 horas al dia...... | 166fr,25 |
| 1 Caballo-hidráulico, trabajando 24 horas.. ........ ......... | 225 |

## III.

No solamente se ha pensado en transformar en aire comprimido la fuerza del mar y la catarata del Niágara, sino que las ideas en el mismo sentido parecen seguir adelante:

**Á la pág. 168.**

Para proporcionar fuerza motriz en aire comprimido á las fábricas y tranvias de Rochester, Nueva York, ha comprado un particular las caidas de agua de los collados vecinos.

Otros inventores norte-americanos trabajan en transformar en aire comprimido la energía de los vientos.

## IV.

El aire comprimido, á pesar de las esperanzas que como motor secundario hace concebir la electricidad, sigue explotándose en gran escala.

A las aplicaciones relativas al aire comprimido detalladas en el Libro que empieza pág. 189, debe adicionarse, entre lo mucho últimamente hecho, como de más importancia, lo siguiente:

**A la nota 2, pág. 194 y otros lugares de la obra.**

El 29 de Febrero 1880 una explosion de dinamita rompió el último diafragma que separaba los dos avances de galería del gran túnel del San Gotardo, cuya longitud es de 14 920 metros, y ha exigido para su perforacion 7 años y 5 meses.

Las dos galerías se han encontrado con tal exactitud, que en altura la diferencia ha sido de 10 centímetros, y de 15 en direccion horizontal.

El 21 Diciembre 1880 pasó ya la correspondencia por el túnel.

Antes, durante el invierno, las nieves interrumpian con frecuencia 2 y 3 dias el tránsito de las cartas, y hubo veces de durar la interrupcion mas de 8 dias.

Visto el buen éxito del San Gotardo, se proyecta un túnel bajo el Simplon que una directamente á Francia con Italia.

Como el túnel del San Gotardo es de interés principalmente aleman, se mira en Francia con estima patriótica el proyecto del túnel del Simplon.

**A la pág. 195.**

El túnel entre Francia é Inglaterra no está ya únicamente en estado de proyecto escrito

En Sangatte, cerca de Calais, se han empezado excavaciones para reconocer el terreno, las cuales parten de un sitio colocado á 70 piés sobre el nivel medio del mar durante el flujo.

En la orilla opuesta se han emprendido otras excavaciones análogas.

Hasta ahora parece que el túnel tendrá que atravesar calizas y pizarras no difíciles de perforar y suficientemente impermeables para no hacer temer infiltraciones del agua del mar.

Pero ¿seguirá sin interrupcion esa clase de terrenos? Eso es lo que se ignora aún.

El Ministro de Obras públicas de Francia ha ampliado á 3 años más el plazo ya espirado que se habia concedido para la exploracion.

**A la 1.ª nota, pág. 195.**

He leido en un periódico, cuyo título no tomé:

Los ingenieros ingleses Mr. Le Fevre y compañía se proponen construir un túnel submarino que atraviese el Estrecho de Gibraltar.

Con este objeto solicitarán en breve la autorizacion del Sr. Ministro de Fomento para empezar los estudios y hacer el proyecto.

**A la misma nota.**

La sociedad de mineros asociados tiene en estudio un túnel de diez millas de largo en las Bocas del Ródano.

**A la pág. 196.**

En Marzo de 1880 se inauguró en París el sistema de distribucion de la hora por medio del aire comprimido, á $\frac{1}{10}$ de atmósfera, sobre la presion normal ambiente, como hacia ya 3 años que funcionaba en Viena por el sistema POPP.

**A la nota 2, pág. 193.**

Mr. FLEUSS ha inventado un nuevo vestido para buzos y para bomberos. En un yelmo tan fuerte que pueda resistir una presion de $16^{at}$ se condensa oxígeno en cantidad suficiente para la respiracion de un hombre, durante 2 horas ó 3. El buzo, además, se viste una especie de coraza que consta de 2 recipientes; uno de los cuales queda colocado ante el pecho y otro á la espalda. En estos recipientes hay caoutchouc poroso, saturado de una solucion de soda para absorber el ácido carbónico de la respiracion. Con estos aparatos se conexiona una máscara ori-nasal para aspirar y expeler el aire por medio de válvulas apropiadas, etc., etc.

Este aparato funciona muy bien.

**A la misma nota.**

Los que quieran estudiar la historia del buzeo pueden consultar:

*Novum Organum*, por Lord BACON.

*Philosophical Transactions* de 1678 en adelante.

*The History of inventions*, por BECKMANN.

*Panorama of Science*, por SMITH.

*Experimental Philosophy*, por ROBERT BOYLE.

CHAMBER'S *Encyclopedia.*

*Encyclopedia Britannica.*

*Diving*, por SIEBE Y GORMAN.

*Proceedings of the Institute of Civil Engineers*, vol. XV, por J. W. HEINCKE.

*Technica curiosa*, por SCHOTT.

**A la pág. 153.**

Para evitar los peligros de las nieblas en las costas de Europa, se piensa en establecer trompetas de aire, comprimido por motores de vapor; las cuales, al mismo tiempo que emitan señales de alarma, dirijan, girando, los sonidos hácia todos los puntos del horizonte.

**A la pág. 196.**

A. G. HYDE, de New York, ha hecho un fusil de viento de mucha sencillez y gran eficacia.

**A la pág. 223.**

Los adelantos continúan en la locomocion por medio del aire comprimido; y, en vista de los buenos resultados ya obtenidos, se piensa en nuevas aplicaciones.

El ferro-carril aéreo, ó en alto, que se proyecta en Milan, á semejanza del de Nueva York, deberá moverse mediante la agencia del aire, comprimido por máquinas fijas de vapor.

El Coronel del cuerpo de ingenieros militares de Inglaterra, Beaumont, despues de varios años de ensayos, más felices cada dia, ha conseguido al fin construir una buena locomotora de aire comprimido: tiene 4 ruedas y funciona satisfactoriamente en el arsenal inglés de Woolwich.

No he visto planos de esta locomotora; pero, por las descripciones, calculo que en ella el aire, préviamente comprimido, funciona sucesivamente en 3 cilindros de capacidad cada vez mayor, á contar desde el primero, que es el más chico; siendo, por consiguiente, el principio de la utilizacion de la expansion aerea semejante al de la del vapor en las máquinas Compound.

El aire se comprime primeramente por una máquina de vapor estacionaria, hasta la densidad de 66 atmósferas (al efecto han servido las bombas destinadadas á la carga de los torpedos): y con ese aire comprimido se llena un depósito existente en la locomotora: para la carga del depósito, leo en un periódico, que se necesitan 15 minutos, y en otro que no se exige más tiempo que requiere un ómnibus para remudar caballos.

Una diminuta caldera de vapor compensa el frio de la expansion del aire; el cual sale caliente á la atmósfera, despues de haber convertido en movimiento gran parte de su energía de dilatacion. La máquina pesa $10\frac{1}{2}$ toneladas, y recorre 20 millas con una sola carga de aire comprimido.

El Coronel Beaumont recurre al calor almacenado en el vapor de agua, para impedir el gran frio de la expansion; como Mékarski recurre al del agua caliente.

Se cree que una locomotora Beaumont de 50 toneladas, como las de vapor comunes en la actualidad, sería capaz de una traccion incomparablemente más potente que ninguna de las construidas hasta hoy.

A consecuencia de un ensayo trimestral favorable en el Wantoge Tramway se ha formado en Inglaterra, una compañía para explotar el sistema Mékarski.

Un inventor americano ha propuesto, segun el Iron Monger, que cada uno tenga su carruaje; y, al efecto, ha inventado un triciclo (carruaje de tres ruedas) capaz de recorrer 40 kilómetros (!) con una sola carga de aire comprimido.

Pero..... ¿dónde hay en cada pueblo factorías de comprimir, sin cuya prévia instalacion el invento resulta inaplicable?

### A la pág. 63.

Davey ha dado el nombre de Simplex á una máquina que se mueve por la accion del aire comprimido y del vapor.

### A la pág. 131.

Rider ha hecho una máquina de aire caliente en que antes el aire se comprime.

## V.

Pero si hay muchos que procuran la conversion en aire comprimido de la energía residente en los saltos de agua de los montes, no son ménos, si es que actualmente no son más, los que piensan en la conversion de toda clase de energía en electricidad.

Hé aquí una ligera enumeracion:

### A la pág. 230, VI.

Varios inventores americanos proponen aprovechar la corriente de los rios rápidos por medio de ruedas colocadas sobre balsas; las ruedas pondrian en rotacion máquinas dinamo-eléctricas, y éstas, otras máquinas tambien dinamo-eléctricas que transformaran la corriente en alumbrado, ó en movimiento de aparatos fijos ó en traccion sobre tranvias, etc.

Estimulan á esta clase de transformacion eléctrica los resultados más recientes, que abren nuevos horizontes á la ambicion científica; de modo que, no bien esclavizamos la electricidad para producir un determinado efecto, cuando ya estamos imaginando cómo la esclavizaremos para otros. No contentos con utilizarla en la creacion de soles artificiales para el alumbrado público, en el revestimiento metálico de materias inferiores, en efectos fisiológicos..... se trata ahora de utilizarla para enormes efectos caloríficos, y para la propulsion de toda clase de vehículos sobre líneas férreas.

C. Siemens ha fundido por medio del arco voltáico un gramo de acero con una fraccion

de la energía existente en un gramo de carbon; mientras que en Sheffield se necesitan 3 toneladas de coke superior para fundir una tonelada de acero.

Desde que hubo máquinas magneto-eléctricas un tanto poderosas se pensó en la transmision de la fuerza á distancia por medio de ellas; y hoy no se sabe ya á quién pertenece la prioridad de la idea. Segun datos dignos de aprecio, la aplicacion de la electricidad á la propulsion de vehículos data de 1847, año en que LILLY Y COLTON, de Pittsburg, Pennsylvania, lograron mover una locomotora en miniatura por medio de la electricidad voltáica. PLANTÉ Y NIAUDET fueron quizás los primeros en llamar hácia esta clase de transmisiones la atencion del mundo científico, mediante sus muy interesantes experimentos ante la Académie des sciences en Mayo de 1873; y la primera aplicacion formal se debe á FONTAINE, quien hizo funcionar una bomba en la Exposicion de Viena, sirviéndose de dos máquinas Gramme.

Ensayos de accion eléctrica á distancia para arar la tierra han confirmado las esperanzas concebidas: en Francia, en una finca de Mr. Meunier; y en Escocia, en otra de Mrs. John y Poynter.

En las minas de Blanzy y á una profundidad de 500 metros se ha establecido un ventilador movido por la electricidad, que da 800 vueltas por minuto, y produce 750 decímetros cúbicos de aire. El motor es de fuerza de 10 caballos, de los cuales se utilizan más de 5 en aire comprimido. La instalacion resulta muy barata. El conductor que une las 2 máquinas GRAMME es de 7 hilos de cobre de $\frac{1}{10}$ de milímetro, aislados por una fuerte capa de gutta-percha.

WERNER SIEMENS construyó, hace 2 años, para una vía estrecha de unos 900 metros, una locomotora movida por la electricidad, siendo así el creador del primer ferro-carril eléctrico en el mundo. La locomotora podia remolcar, con una velocidad de 20 millas y aún más por hora, un tren de 3 á 4 carruajes, donde cabian cómodamente hasta 30 personas. La vía era circular; y muchos millares de personas hicieron el trayecto, mediante una pequeña suma destinada á objetos de beneficencia.

La locomotora llevaba la máquina dinamo-eléctrica que le servia de propulsor. Las traviesas aislaban bastante bien los rails, que hacian de conductores. En la estacion una máquina fija de vapor ponia en movimiento una primera máquina magneto-eléctrica. La electricidad de ésta iba por un rail hasta una rueda de la locomotora, y hacía funcionar la segunda máquina magneto-eléctrica, que era la motriz del vehículo; y, despues de darle movimiento, volvia la corriente por la otra rueda á la estacion, donde la energía de la combustion del carbon de piedra estaba contínuamente generando la electricidad, etc.

El Engineering dice que la Empresa del San Gotardo ha pensado seriamente en usar la electricidad para el trayecto en el túnel, solo por la ventaja de poder prescindir del humo y de las cenizas en tan larga perforacion de 15 kilómetros. En efecto; todo lo que habria que disponer sería el aislamiento de los rails, y hacer á las turbinas (que han estado sirviendo para condensar el aire de las perforadoras, y aún se hallan en muy buen estado) poner en movimiento máquinas magneto-eléctricas de suficiente poder para el remolque de los trenes.

Es de tanta importancia el poder prescindir del humo y de las chispas, que algunos periódicos ingleses proponen tambien la locomocion eléctrica en las vías subterráneas de Lóndres; y otros en Nueva York para los caminos de hierro en alto que atraviesan esta poblacion. Hasta se ha hablado de hacer de hierro el pavimento de los grandes centros de poblacion, á fin de que el suelo pudiera siempre servir de transmisor de las energías eléctricas.

Animado con lo favorable del éxito, el Dr. SIEMENS ha inaugurado entre Berlin y Lichterfeld otro ferro-carril eléctrico; el cual mide una distancia de 2 kilómetros y medio.

Segun el Dr. W. SIEMENS, su locomotora eléctrica aprovecha el 50 por 100 de la fuerza desarrollada en el motor primario.

SIEMENS tambien estableció un ascensor eléctrico en la Exposicion industrial de Mannheim, destinado á elevar al público á la azotea de una torre de 20 metros de altura. El número de personas que usaron el ascensor llegó á 8.000. La velocidad de la subida fué de medio metro por segundo (á veces mé-

nos; $0^m,45$). El peso muerto estaba equilibrado: por consiguiente, muy poco esfuerzo eléctrico bastaba para la ascension de los pasajeros.

Boué, en Francia, tomó patente en 1878 para la propulsion de vehículos sobre ferro-carriles, con la particularidad de poder DISTRIBUIR (?) la electricidad á varios trenes separadamente.

La importancia de las aplicaciones de la electricidad ha aumentado con el descubrimiento de las pilas secundarias, ó almacenes de electricidad.

La pila secundaria, ó acumulador de Faure, que tiene muchos puntos de semejanza con la renombrada que Planté inventó hace cerca de 20 años, aparece que, prácticamente, almacena una cantidad de energía capaz de producir al cabo de varios dias un trabajo de un caballo-vapor durante una hora con un peso de 75 libras de plomo acumulador.

La maravillosa caja de electricidad de Faure *(marvellous box of electricity)* se presta á múltiples aplicaciones, y excita hoy mucho el interés de los sabios, porque el problema de convertir la energía en una forma almacenable, para conservarla indefinidamente y usarla sólo cuando se necesite, es de suprema importancia científica para los ingenieros.

Sin embargo, la energía almacenada en las 75 libras de la caja maravillosa de Faure es solo equivalente á la de onza y media de carbon. Hasta ahora no hay almacenador de energía que pueda equipararse al agua situada en altos depósitos, ó al aire comprimido: verdaderamente el combustible es un almacen de energía incomparable, procedente del sol.

Pues, apenas descubierta la almacenabilidad práctica de la electricidad, ya ha encontrado aplicacion.

Trouvé ha adaptado á un triciclo dos de sus motores eléctricos, provisto cada uno de tres elementos secundarios, (ó acumuladores de electricidad).

### A la pág. 808.

La idea de la locomocion intratubular parece no asustar á los yankees. Háblase de un tubo de hierro de 5600 kilómetros de largo y 8 metros de diámetro depositado en el fondo del Atlántico (!) para pasar en 50 horas por TRACCION ELÉCTRICA desde la América del Norte á Inglaterra, y vice-versa. (!!!)

¿Llegará á ser muy pronto realidad la llamada, hasta hace poco, utopia de los entusiastas preconizadores de que la electricidad seria, en dia no lejano, el agente universal de todas las afecciones de la materia?

## VI.

El gran número de fenómenos sin explicacion aún satisfactoria, respectivos á la teoría de las mareas, ha hecho que físicos inteligentes lleven su inventiva hácia otra hipótesis de carácter puramente geológico: á la fluidez del núcleo terrestre.

De entre lo más ó ménos profundo manifestado últimamente en tal sentido, me parece digno de atencion lo siguiente:

### A la pág. 100.

Heim ha llamado la atencion del mundo científico acerca de la coincidencia, muy frecuente, de ocurrir los terremotos á la hora de las pleamares vivas en las épocas del perigeo.

Fundándose en lo cual, un corresponsal de La Nature sugiere lo siguiente:

«Entre las objeciones presentadas á los que consideran flúido el interior de la tierra, está la consideracion de que, á existir semejante estado de fluidez hácia el centro, esa masa flúida central se hallaria sujeta á la atraccion luni-solar, y en sus movimientos

haria oscilar la corteza terrestre. Pero, si precisamente cuando es un máximo la accion atractiva de los dos grandes luminares ocurren, efectivamente, movimientos en la superficie terrestre, coincidentes con las máximas mareas ¿no hay razon para presumir que la objecion es infundada, relativamente por lo ménos, á los términos en que se la formula?

## VII.

La teoría mecánica del calor ha recibido una confirmacion de grandísimo peso por la reciente publicacion de un libro ¡admirable! de Berthelot. Anteriores trabajos de este gran químico hacian prever la sintetizacion grandiosa á que llega en esta obra, pirámide que descuella entre pirámides muy altas de este inmortal siglo XIX.

**A la pág. 267, nota 1, 269, 273, 278.**

Berthelot, además de la materia, da por supuesta la existencia del éter, al cual parece no considerar como contínuo, puesto que en varios pasajes habla de sus partes componentes.

Profesa diferencia entre la constitucion física y la química.

Físicamente, los cuerpos están formados de partes diminutísimas susceptibles de tres estados:

En el sólido, las partículas permanecen á distancias sensiblemente fijas, y dispuestas segun direcciones casi invariables, lo que sobre todo se comprueba en las cristalizaciones. Los sólidos, pues, no pueden experimentar más que movimientos de masa, ó vibraciones internas en que sus partículas oscilen alrededor de una posicion de equilibrio.

Tal estado no puede concebirse sino admitiendo, en primer lugar, huecos interiores en los cuerpos, y, en segundo lugar, acciones atractivas que tiendan á aproximar las moléculas; al mismo tiempo que, acciones repulsivas, segun una funcion especial de la distancia, impidan la completa aproximacion de las partes (1).

En los líquidos las partículas están á distancias fijas, si bien pueden cambiar su relativa disposicion con suma facilidad, puesto

---

(1) Es de notar que Berthelot esquiva llamar cohesion á las fuerzas atractivas, y que, respecto á las repulsivas, sin emitir hipótesis ninguna respecto de su naturaleza, se limita á decir que aumentan en general, bajo la influencia de la calefaccion, que tiende á dilatar la mayoría de los sólidos.

Paréceme notar el mismo esquivamiento en los autores franceses desde que en 1867 Sainte-Claire Deville dió sus famosas *Leçons de chimie* en la Sociedad química de París, donde el eminente profesor se pronunció abiertamente contra la cohesion y la afinidad, acusándolas de causas ocultas, dañinas como las admitidas en la Edad-Media al progreso de la ciencia, porque «conducen al misticismo científico de que la química da en este instante (1867) tan pernicioso ejemplo.» Para Sainte-Claire Deville todas las hipótesis admitidas desaparecerán un dia de la ciencia. «No hago, dice, excepcion ninguna; ni áun en obsequio de esa teoría de las undulaciones, concepcion admirable, en que, sin embargo, la hipótesis del éter luminoso deja tanto que desear aún.»

Sainte-Claire Deville queria desterrar de la ciencia los nombres de afinidad, cohesion, rozamiento..... palabras que hacíamos sustancias; pues, para el ilustre profesor, no habia necesidad de buscar á las combinaciones químicas otra causa que la causa de que emana el calor.

«En el orígen, todos los cuerpos han debido ser polvo:» «El carton es la imágen de los cuerpos: las fibrillas de la pasta del papel, enredadas unas con otras, forman un conjunto resistente y tenacísimo, sin necesidad de recurrir á una *causa oculta* cual lo es la de la cohesion: un cemento sólido es un fieltro de cristales enredados entre sí, como las partes de la masa del papel.....»

Contra esta teoría de los polvos moleculares enganchados unos en otros, puede siempre dirigirse la eterna pregunta de que, habiendo de ser compuestos estos ganchos elementales, pues tienen forma, ¿qué es lo que los mantiene unidos? Pero, sea de tal teoría lo que quiera, parece lo cierto que ha hecho caer en desgracia á las palabras *cohesion y afinidad* la justísima autoridad científica del sapientísimo autor de los descubrimientos referentes á la disociacion, cuya importancia y fecundidad no hay palabras con que encomiar debidamente.

que son susceptibles de tomar las formas de los vasos; como debiera suceder en un recipiente lleno de esferillas tan bien pulimentadas que los roces quedaran sin efecto.

Tambien, para concebir la existencia de los liquidos, hay que admitir fuerzas atractivas y fuerzas repulsivas; y en las moléculas tres clases de movimientos: de vibracion, como en los sólidos; de resbale, alrededor unas de otras, sin cambio del centro de gravedad, y de translacion, á través de las demás, por deslizamiento entre las mismas.

En los gases, las acciones atractivas se hacen insensibles, al paso que las repulsivas adquieren tal preponderancia, que las partículas gaseosas huyen unas de otras, constante é indefinidamente, sin más límite que las paredes de los vasos continentes, contra las cuales siempre ejercen presion. Las acciones repulsivas se desarrollan principalmente con el calor. Las partículas gaseosas, pues, pueden concebirse como miriadas y miriadas de esferillas elásticas, que, animadas de movimientos incesantes, estuviesen chocando unas contra otras y contra las paredes de sus vasos; una muy pequeña parte de los cuales vendrian ellas á ocupar, si pudiesen quedar sin movimiento.

Para concebir los gases hay que suponer en sus partículas tres clases de movimiento: de translacion rectilínea hasta un choque con otra molécula ó con la pared de un recipiente; de rotacion, desarrollada por los choques; y de vibracion, producida por los choques y el calor.

Los fenómenos ópticos obligan á admitir la realidad de estos últimos movimientos; y su existencia, junta á la de los fenómenos de la elasticidad, tiende á establecer que las partículas de los gases, por pequeñas que sean, son en realidad masas comparables á SÓLIDOS, formadas á su vez de partículas infinitamente más pequeñas.

Considerados QUÍMICAMENTE, halla BERTHELOT que la mayor parte de los cuerpos son compuestos, y que sus partículas no resultan indefinidamente divisibles por los procedimientos químicos. Las últimas partes, indescomponibles segun nuestros medios, constituyen los elementos químicos, ó las sustancias simples; sin embargo de lo cual, el átomo del químico no ha de entenderse en un sentido absoluto; porque las propiedades ísicas de las últimas partículas químicas obligan á concebirlas como constituidas de partecillas infinitamente más pequeñas, del órden de magnitud de las que constituirían la materia etérea de los físicos.

Por diminutas que se las suponga, las partículas últimas de la química tienen masa, porque los elementos químicos se combinan segun relaciones de peso absolutamente invariables para cada compuesto definido; pesos que son múltiplos los unos de los otros por números simples, y tales, que las relaciones segun las cuales dos elementos se combinan con un tercero (ó sus múltiplos) son precisamente las mismas que las relaciones, segun las cuales ellos se combinan entre sí.

Las leyes de la química se fundan, pues, en experiencias basadas únicamente en el conocimiento de los pesos de las materias que se combinan; y las relaciones ponderales, segun las que los elementos se sustituyen en sus combinaciones, constituye los equivalentes químicos.

Los pesos de todos los gases, simples ó compuestos, son, á igualdad de volúmen, proporcionales á sus equivalentes (ó á múltiplos simples de estos, como 2, ó bien como 4); de donde se deduce que todos los gases constan del mismo número de partículas (ó números dobles ó cuádruplos de aquel). Transportando, pues, POR HIPÓTESIS, las propiedades de un volúmen de gas á cada una de las partículas que lo constituyen, se SUPONEN proporcionales los pesos moleculares á los pesos de los gases, á igualdad de volúmen.

Volúmenes iguales de los diversos gases simples absorben, para igual elevacion de temperatura, la misma cantidad de calor; lo cual debe interpretarse diciendo, que adquieren un mismo incremento de fuerza viva.

De donde se deduce, con gran probabilidad:

1.° Que es la misma para todos los gases simples la fuerza viva total, que á igualdad de volúmen les comunica el calor.

2.° Que la fuerza viva de cada partícula elemental en los gases simples ofrece un mismo valor (ó su mitad ó cuarta parte).

Relaciones análogas, aunque ménos precisas, existen para los sólidos entre los diversos calores específicos, entre sus densidades, y, en general, entre las diversas propiedades que dependen de las masas relativas.

Animadas las moléculas de tan considerables y complejos movimientos, si se precipitan unas sobre otras, deben desarrollar extraordinario calor; como cuando el martillo golpea contra el yunque; quedando despues del choque variadas las distancias recíprocas, modificadas sus acciones mútuas, destruidos sus lazos primitivos, ó reemplazados por nuevas dependencias. Y, precisamente por esto, no hay siempre accion química entre dos ó más cuerpos que pudieran combinarse en otras circunstancias; pues, para que sus moléculas se precipiten unas sobre otras, necesitan cierta fuerza viva que han perdido en choques anteriores, ó cierta disposicion especial, ó posibilidad de esfuerzos mútuos; y, mientras no se les restituya la fuerza que han perdido, ó se las ponga en las condiciones adecuadas, permanecerán recíprocamente inactivas, si bien puede quedarles aún mucha actividad con respecto á otras clases de moléculas.

La fuerza viva perdida se les puede devolver por medio de las energías físicas y de las energías químicas.

Entre las energías físicas se clasifican las manifestaciones ó absorciones de calor, propias de la licuefaccion de los gases, la solidificacion de los líquidos, los cambios de volúmen y de calor específico en los gases, los líquidos y los sólidos, los cambios de tension de vapor y de fluidez en los líquidos, la cristalizacion y los cambios de forma cristalina en los sólidos, las modificaciones del estado amorfo, etc.; en una palabra; los cambios en que sólo hay condensacion de un producto y no formacion de un cuerpo nuevo.

Entre las energías químicas hay que clasificar todos los cambios, sin excepcion, que se verifican cuando moléculas heterogéneas, por poseer la energía necesaria, se precipitan unas sobre otras para formar compuestos nuevos.

Como se ve, el concepto general de Berthelot, respecto de la materia y sus energías, no difiere en el fondo del que la generalidad de los físicos profesa.

Pero la parte original, y propia suya, consiste en el acúmulo de trabajos, por cuya virtud ha logrado referir á la teoría mecánica del calor todas las manifestaciones de las energías moleculares que puedan considerarse como puramente químicas.

Los físicos han demostrado que hay siempre proporcionalidad entre la cantidad de calor desaparecida en las máquinas y la cantidad de trabajo mecánico producido durante la desaparicion; y, así, la idea de sustancialidad, atribuida generalmente al calor durante la primera mitad del siglo presente, ha tenido que ceder su puesto á la simple idea de fenómeno, habiendo habido que considerar al calor como un modo especial de movimiento.

Observaciones exactísimas no permiten dudar de que siempre que una cierta cantidad de calor desaparece en un sistema de cuerpos, sin que sea posible encontrarla en los cuerpos circunstantes, el sistema adquiere un aumento correspondiente de fuerza viva, ó produce un trabajo proporcional; y, recíprocamente, siempre que se observa pérdida de fuerza viva ó gasto de trabajo en un sistema, sin que tal pérdida ó tal gasto puedan explicarse por un fenómeno del mismo órden y correlativo en otro sistema, resulta aparente una cantidad de calor proporcional á la desaparicion ó al gasto.

Esta equivalencia entre el calor y el trabajo es directamente mensurable, cuando se trata de las máquinas y de las fuerzas vivas que las hacen funcionar. Pero no es posible efectuar mediciones directas cuando se trata de hallar la equivalencia entre los cambios de fuerza viva y los trabajos de las últimas partículas de los cuerpos.

La cuestion, pues, sólo puede resolverse indirectamente, si, aplicando la teoría mecánica del calor á los movimientos insensibles que suponemos en las acciones químicas, se encuentra siempre conformidad constante entre los resultados de la experimentacion y los principios de la teoría.

Y, recíprocamente, si aparece constante esa conformidad, los trabajos de las fuerzas químicas entran de una vez y quedan comprendidos en la misma definicion de los de las demás fuerza naturales, resultando así, tanto los fenómenos físicos como los químicos, regulados por condiciones de un mismo órden.

Suponiendo, pues, verdad, la equivalencia entre el trabajo y el calor, lo mismo cuando se trata de las máquinas comunes que cuando se trata de los trabajos moleculares, llega el genio de Berthelot á estable-

cer tres grandiosos principios, sobre los cuales, en síntesis profunda, levanta una ciencia enteramente nueva, la termoquímica: la ciencia de la química mecánica.

Hé aquí los tres principios:

Principio de los trabajos moleculares (base de la calorimetría química). La cantidad de calor exteriorizado en una reaccion cualquiera mide la suma de los trabajos tanto químicos como físicos realizados en la reaccion.

Principio de la equivalencia calorífica de las transformaciones químicas. Si un sistema de cuerpos, simples ó compuestos, en condiciones determinadas experimenta cambios, físicos ó químicos, que lo conducen á un estado nuevo sin producir ningun efecto mecánico exterior al sistema, la cantidad de calor, exteriorizada ó absorbida, es siempre la misma, sean las que quieran la naturaleza y el órden de los estados intermedios.

Como en mecánica, determinados un estado primitivo de un sistema y un estado final, la suma de los trabajos necesarios para el tránsito del uno al otro es siempre la misma, sea la que quiera la ruta que se siga, así en calorimetría química la cantidad de calor desprendida ó absorbida en una reaccion, depende de los estados inicial y final del sistema, y la cantidad de calor de una transformacion química es una constante, como el peso de los elementos.

Principio del trabajo máximo (base de la estática química). Todo cambio químico, realizado sin intervencion de una energía extraña, tiende á producir el cuerpo ó el sistema de cuerpos que desprende más calor. Así un sistema de graves tiende siempre á la posicion en que sea un máximum el descenso.

La estabilidad de un compuesto químico depende del mayor gasto de calor.

Corolario del tercer principio. Toda reaccion química realizable sin el concurso de un trabajo prévio, ó la intervencion de una energía extraña en los cuerpos del sistema, se produce necesariamente si hay desprendimiento de calor.

Éter, y movimientos del éter, que se nos manifiestan por los fenómenos de la luz, de la electricidad y del calor (1);

Partículas diminutísimas de la materia ponderable;

Composicion de estas moléculas, constituidas, las elementales, probablemente de asociaciones de otras infinitamente más pequeñas, de magnitud de órden etéreo; las compuestas, de asociaciones de elementos; y las que las combinaciones determinan, de asociaciones de compuestos;

Acciones atractivas de un cierto órden que tienen unidas entre sí las últimas partículas de la materia;

Acciones atractivas de otro órden, que reunen los elementos de las combinaciones de composicion heterogénea, ú homogénea, y cuya resultante constituye la afinidad (2);

Movimiento en cada una de las partículas compuestas, componentes de las combinaciones; movimiento en cada una de las partículas elementales, cuya asociacion constituye las partículas compuestas; y movimiento en cada una de las partículas infinitamente más pequeñas, cuya asociacion constituye probablemente los cuerpos simples;

Vibraciones en las moléculas de los sólidos; vibraciones y translaciones en las de los líquidos; vibraciones, rotaciones y translaciones en las de los gases; movimientos todos procedentes de reserva especial de fuerzas vivas, propias de los elementos mismos, y dependiente de la estructura de sus partículas características, en cuanto se hallan constituidas por partes infinitamente más pequeñas de materia etérea, ó análoga;

Calor de las reacciones como medida de la suma de los trabajos físicos y químicos, durante ella realizados;

Tendencia á aquella combinacion en que el desarrollo de calor sea un máximum;

Necesidad de deslindar lo que corresponde de calor á los trabajos físicos, y lo que corresponde de calor á los trabajos químicos;

Orígen del calor químico en las transformaciones de los movimientos moleculares, ó en los cambios de disposicion relativa de las moléculas, ó en las pérdidas de fuerza viva

(1) Véase la Seccion final XIV.

(2) Si la afinidad es la resultante de las acciones que intervienen en la formacion de un compuesto químico, desaparece el concepto de fuerza especial inherente á la sustancia de los átomos.

al precipitarse sustancias heterogéneas unas contra otras en las combinaciones: .....

Hé aquí en brevísimo bosquejo los principios que sugiere el eminente autor para el establecimiento de la MECÁNICA QUÍMICA.

Pero sería vano pensar que con esta ligera nocion se conoce á fondo su doctrina. Para conseguirlo no hay más que un solo recurso: ver su obra (1).

Y se concibe claramente esta necesidad, si se piensa en el portentoso número de casos y combinaciones aritméticas de estos casos que pueden ocurrir y que deben llevarse en cuenta para deducir la resultante final en que consiste la ESTABILIDAD de un compuesto. Acciones naturales, propiamente físicas, facilitan ó determinan la combinacion de los elementos ó la descomposicion de los compuestos; tales como el choque, la presion, la temperatura, las vibraciones de la luz, las agencias de la electricidad. Respecto á la electricidad misma hay que estudiar sus diversas formas de energía como corriente voltáica en la electrólisis, arco voltáico, chispa eléctrica, efluvio..... Respecto de la luz, cuya accion aún es tan oscura, hay que estudiarla cuando produce descomposiciones, combinaciones, cambios isoméricos....; hay que discutir la accion especial de los rayos violetas y ultravioletas; la de las demás radiaciones, que, aunque no se llamen enfáticamente radiaciones químicas, no por eso dejan de intervenir en las reacciones..... Respecto del calor, hay que estudiar los calores de combinacion referidos al estado gaseoso, referidos al estado líquido, referidos al estado sólido, las combinaciones de los metalóides, las sales..... la accion del tiempo..... el calor en los cuerpos vivos (2) y en los puramente inorgánicos..... Pero, ¿quién va en un resúmen á enumerar todos los casos especiales cuya discusion constituye esta gran obra?

Hasta ahora, las notaciones químicas expresaban solamente los pesos relativos de los cuerpos de una reaccion; pero, para la mecánica química, era preciso que en la notacion estuviesen incluidas las propiedades y la naturaleza de los cuerpos componentes y la intensidad de las energías que residen en ellos.....

Mucho ha hecho BERTHELOT con su mecánica química. Ya el químico no será guiado en sus previsiones por solo una especie de instinto empírico: el gran principio descubierto por BERTHELOT, y á que ha dado el nombre de «TRABAJO MÁXIMUM,» permite prever las acciones recíprocas de los cuerpos, mientras les quede energía remanente; de un modo análogo á cómo el conocimiento de la altura y de la masa de los graves, nos hace conocer la cantidad de trabajo que todavía pueden efectuar en su posible descenso; pero, segun BERTHELOT mismo lo confiesa, las teorías de la mecánica química carecen aún de aquella soberana generalidad que constituye la certeza de la mecánica celeste (3).

---

(1) ¿Daria idea de la figura de la tierra quien sólo dijese que era redonda y achatada por los polos? Para los antiguos que la creian plana y rodeada por el rio Océano, sería, sin duda, una gran nocion la de la esferoicidad de nuestro globo; pero, para el geodesta moderno, esa nocion seria bien poco. El navegante no llegaria á puerto ninguno, si sus conocimientos estuviesen limitados al de la forma globular de nuestro planeta.

Poco es, por tanto, dar una idea general del Essai de Mécanique chimique fondée sur la thermochimie de BERTHELOT. Es necesario estudiarlo con gran recogimiento, porque en él se hallan reunidos y coordinados en conjunto maravilloso, que llega hasta constituir un centenar de cuadros completísimos, no solamente los trabajos del mismo BERTHELOT, sino los de muchas generaciones de físicos y químicos, respecto á los calores de combinacion de los cuerpos simples y de los cuerpos compuestos, á los calores de fusion, de vaporizacion y de disolucion, á los calores específicos de los cuerpos gaseosos, líquidos, sólidos, disueltos....., etc., etc.

(2) La isomería atribuida por los químicos hasta ahora á la distinta agrupacion de los átomos en cuerpos constituidos de iguales elementos y en las mismas proporciones, halla explicacion segun la teoría de BERTHELOT en la distinta energía de los elementos de cada compuesto. Los calores de formacion no son iguales en los compuestos isoméricos, ni las calorías producidas por su combustion lo son tampoco.

No debe calcularse el calor de los animales por el ácido carbónico y el agua de la respiracion, segun se venia haciendo, porque los animales no queman carbono ni hidrógeno libres. Queman los compuestos complicadísimos de carbono y de hidrógeno contenidos en los alimentos, los tejidos oxidados, etc

(2) Véase la Seccion final.

## VIII.

La hipótesis del éter y sus atributos, así como las de sus relaciones con la materia ponderable para explicar los fenómenos del calor y de la electricad, ha producido nuevas afirmaciones dignas de tomarse en consideracion, especialmente en lo que concierne á las atracciones imaginadas entre el éter y la materia ponderable, ó á su indiferencia recíproca, segun determinados pensadores.

### A las págs. 237 y 259.

El Rev. S. EARNSHAW ha presentado á la British Association un trabajo cuyo extracto es lo siguiente (1):

En la naturaleza hay dos sustancias distintas:

Materia,

Éter (2):

Ninguna de las dos tiene poder para atraer ni repeler á la otra:

Materia y éter están constituidos por átomos:

Ni unas ni otros experimentan cambios de figura ni de dimensiones, y son de aquellas formas que no pueden llenar el espacio:

Cada átomo de materia es impenetrable al éter, y obra sobre él sólo por presion y contacto:

La porcion de espacio llena de materia, está necesariamente vacía de éter:

Todo espacio no ocupado por materia está lleno por éter:

Los átomos materiales se atraen en razon inversa del cuadrado de la distancia.

Son iguales en todos respectos los de un mismo género de cuerpos:

Los de cuerpos diferentes difieren entre sí en magnitud, y acaso en otros respectos, como en forma, etc.

Los átomos del éter se repelen en razon inversa de la cuarta potencia de la distancia (3):

Un átomo de éter, pues, encuentra inmensa dificultad para movimientos de traslacion de una parte á otra del medio etéreo;

Sólo como ondas y corrientes no halla impedimento enorme el movimiento etéreo:

El movimiento undular se transmite con igual velocidad en todas direcciones (4):

Los átomos del éter, deben, pues, ser esféricos.

Cuando un átomo de materia desplaza al éter, aumenta la densidad del éter que lo rodea:

El éter más condensado que rodea á un átomo materialmente, forma una esfera etérea:

Cada átomo de materia en el universo está así rodeado de una esfera que le es peculiar:

Los fenómenos del calor se pueden explicar por estas esferas de éter:

Las esferas etéreas que circundan cada átomo material, constituyen así una VERA CAUSA de los fenómenos del calor.

### A las págs. 237 y 259.

En la Revista de conocimientos útiles ha publicado recientemente el Sr. D. JOSÉ ECHEGARAY, una síntesis notable de sus ideas sobre las leyes fundamentales del mundo físico.

Hé aquí lo más principal, expresado casi con los mismos términos del autor.

---

(1) Véase Report of the 49th meeting of the British Association for the advancement of Science, held at Sheffield in August 1879.

(2) Véase la Seccion final.

(3) La enorme velocidad de la luz en el espacio libre hace necesaria esta hipótesis de una colosal repulsion del éter sobre el éter, y explica la gran dificultad que debe experimentar un átomo de éter para trasladarse de un punto á otro del medio etéreo.

(4) En el espacio libre la luz se traslada, al parecer, con igual velocidad, sea el que fuere el sentido del movimiento.

El universo todo, en su parte material, se compone de dos clases distintas de elementos:

Materia ponderable (1):

Eter.

La materia ponderable está formada por moléculas situadas relativamente á grandes distancias unas de otras; y ellas constituyen el esqueleto del Cósmos.

Las moléculas no son macizas, sino sistemas de átomos.

Entre los poros de los cuerpos y entre unos cuerpos y otros; y en los espacios interstelares; y en medio de las nebulosas y alrededor de ellas, y en lo siempre inagotable del inagotable espacio, se extiende el éter; segunda REALIDAD, ó segunda fecundísima HIPÓTESIS inventada para explicar de algun modo la gran máquina de los mundos.

El éter es una especie de sutilísimo gas, un vapor el más vaporoso que imaginarse puede, un último estado de la materia; gas, ó vapor que penetra en los huecos de los cuerpos, rellenándolos, por densos que estos sean: Océano infinito que baña los mundos.

Suponed que de esos globos henchidos de gas, que para entretenimiento de los niños veis en el paseo, formando vistosos y alegres racimos, se escapan por el aire centenares, miles, millones, millones de millones. Unos son grandes, otros pequeños, y de múltiples y distintas formas todos: unos cuantos aquí; más léjos, formando distinto grupo, otros varios; y, así, por todo el espacio de nuestra atmósfera. Suponed todo esto, y tendreis la imágen más exacta de la materia; los globos serán las moléculas, ó, si se quiere, los átomos ponderables; sus agrupaciones, los cuerpos: el aire, el éter: las atracciones ó repulsiones de los globos, las fuerzas naturales: sus movimientos, los fenómenos de la física y la química.

Hay, sin embargo, que agregar una idea. El éter, que á todas partes llega, que en todos los cuerpos penetra, y que se extiende sin término ni límite,—se condensa y recoge en la proximidad de cada elemento ponderable, resultando ser así alrededor de cada uno, más denso que en el resto del espacio. Cada átomo, ó, si se quiere, cada molécula es un núcleo: y, á su alrededor, como formando una verdadera atmósfera, se halla una capa más ó ménos espesa y más ó ménos densa de éter: de modo que, sólo de uno á otro de estos microscópicos, ó ultramicroscópicos sistemas, se extiende el éter con la ordinaria densidad. Las moléculas, así, son mundos en miniatura: alrededor de cada molécula hay una almósfera de éter condensado; y, entre unas y otras, el espacio etéreo.

Los núcleos ponderales se atraen segun la ley de Newton;

Cada elemento ponderable atrae, segun cierta potencia de la distancia, á todo elemento etéreo;

Los átomos del éter se rechazan;

Estas tres leyes hipotéticas constituyen la vida del esqueleto cósmico.

Además:

Todo cuerpo en condiciones de estabilidad contiene cierta cantidad de materia y de éter;

Cada cuerpo, en las condiciones ordinarias, no tiene capacidad entre sus moléculas sino para una cierta suma de átomos etéreos; del mismo modo que una esponja no puede contener más que cierta masa del líquido que la impregna:

El éter y la materia son susceptibles de movimientos vibratorios y de translacion.

Dados estos principios, es hacedero explicar, por las leyes de la Mecánica y las leyes eminentemente racionales de la cantidad, todos los fenómenos naturales del mundo inorgánico.

Cuando las atracciones de los núcleos ponderables y la de estos y sus atmósferas, son superiores á las repulsiones mútuas de las atmósferas etéreas, las agrupaciones materiales constituyen los cuerpos sólidos.

Cuando las atracciones moleculares y las repulsiones de las atmósferas etéreas se compensan, por aumentarse los huecos intermoleculares, resulta una especie de indiferencia de equilibrio para cada núcleo, y las agrupaciones aparecen en un estado en que las posiciones de las partículas no son invariables, aunque las distancias permanecen fijas; de modo que, á cada sistema compuesto de una molécula y su atmósfera, es dado rodar alrededor de los demás sistemas, como si

(1) Véase la Seccion final.

el cuerpo estuviese compuesto de esferillas infinitamente pequeñas, sin rozamientos casi. Esta indiferencia de equilibrio constituye el estado líquido.

Pero, si la fuerza de repulsion aumenta, cada molécula, con su correspondiente atmósfera, se separa definitivamente de las demás, lanzándose al espacio como microscópico proyectil ó astro diminuto; en cuyo caso el cuerpo se convierte en gas.

La vibracion rapidísima de las moléculas ponderables, es lo que se nos manifiesta como calor; vibracion que se comunica á sus atmósferas etéreas, que se traslada aún al éter del espacio, por el cual circula con el nombre de calórico radiante; y que llega hasta penetrar en las moléculas mismas, haciendo vibrar en ellas los átomos que las constituyen, como palpitacion invisible de toda su masa.

Si la vibracion de las moléculas aumenta, se estorban entónces las unas á las otras; necesitan más espacio en que realizar su mayor agitacion; chocan con más violencia, no las moléculas mismas, sino sus esferas de actividad; por virtud del choque se apartan unas moléculas de otras, y pasan al estado de líquido ó de gas, conforme á la intensidad de la vibracion. La dilatacion es consecuencia de un aumento de agitacion interna que no vemos en los elementos ponderables, pero que sentimos en la afeccion sensible de calor.

Un cuerpo ponderable vibra; el sol por ejemplo: sus vibraciones se comunican al éter del espacio, y por el espacio viene la ola, que nació en la masa etérea al repetido choque de la masa solar, como nace y se dilata en un estanque la ola engendrada por una piedra que en las aguas cae. La vibracion de los átomos etéreos llega, atravesando el cristal de nuestros ojos, hasta nuestra retina, y nuestra sensacion se llama luz.

La vibracion de las moléculas toma el nombre de calor;

La vibracion del éter toma el nombre de luz;

La vibracion del aire el de sonido;

Como el nivel del agua, en un estanque, no puede pasar de una cantidad determinada, porque, si pasa, se derrama, ó rompe las paredes del depósito; así, la cantidad de éter no puede exceder de cierto límite en los cuerpos; porque, si excede, el éter se esparce por la atmósfera en forma de chispa eléctrica; con violencia tal, á veces, que disloca ó deshace el cuerpo, como el exceso de carga hidráulica disloca ó rompe las paredes de un estanque.

En dos depósitos, con nivel distinto é incomunicados, permanece indefinidamente en equilibro estático el agua que los llena; pero si se los une por un conducto, fluye el líquido desde el depósito de más elevado nivel hácia el de ménos, y el movimiento no cesa hasta que la superficie libre de ambos líquidos, se halla á igual altura. Pues, de análogo modo, dos cuerpos aislados, pero con distinta carga etérea, ó, como se dice en términos matemáticos, con distinta potencial, permanecerán indefinidamente en equilibrio etéreo; pero, si se los pone en comunicacion por conductores metálicos, del cuerpo de más alta potencial correrá éter hácia el de potencial inferior: pasando así el sobrante de un cuerpo al otro por el hilo conductor, como el agua por un tubo; y este movimiento del éter, que continuará hasta hacerse igual la potencial de los cuerpos, es lo que ha recibido el nombre de corriente eléctrica;

Materia ponderable;

Éter;

La materia atrae á la materia;

La materia atrae al éter;

El éter repele al éter;

El éter se condensa alrededor de las moléculas de materia ponderable:

Cada molécula es un sistema de átomos rodeado de una atmósfera de éter más ó ménos condensado;

La materia y el éter son susceptibles de movimientos vibratorios y de translacion:

Las vibraciones de las moléculas ponderables constituyen el calórico;

La transmision de estas vibraciones al éter y del éter á las moléculas, el calórico radiante;

De la intensidad de las vibraciones dependen los estados de los cuerpos;

Las vibraciones del éter, constituyen la luz;

El desequilibrio de la reparticion del éter, que produce plétora etérea en unos cuerpos y anémia en otros, constituye la electricidad estática;

El tránsito del éter, por conductores metálicos, desde los cuerpos más cargados hácia

los ménos, hasta quedar los dos con la misma potencial, la electricidad dinámica (1);

Hé aquí para ECHEGARAY lo que, como realidad y como fuerzas, hay que admitir para explicar los fenómenos naturales.

ECHEGARAY no necesita para su síntesis, tan sencillamente presentada, penetrar en las profundas entrañas de la ciencia, porque su objeto actual es sólo popularizar ideas, ó ciertas ó probables, y en todo caso importantes; razon por la cual deja tambien á un lado, por ahora, la cuestion de si el éter es materia contínua, ó está formado de átomos sutilísimos.

## IX.

La CONVERTIBILIDAD de las afecciones de la materia unas en otras ha recibido recientemente nuevas y sorprendentes confirmaciones, algunas enteramente inesperadas.

### A la pág. 252, nota, Luz.

En Mayo de 1878 ALEJANDRO GRAHAM BELL, cuyo nombre se asocia á la invencion del teléfono, expresó su creencia de que era posible OIR UNA SOMBRA.

Y, en efecto, interrumpiendo rítmicamente la accion de la luz sobre el metal conocido con el nombre de selenio, le fué posible producir sonidos. BELL y TAINTER han inventado, al efecto, un aparato de demostracion, que no permite dudar acerca de la nueva realizacion de esta otra imposibilidad.

La resistencia eléctrica del selenio varía con la intensidad de la luz que recibe, propiedad descubierta accidentalmente en 1873 por un ayudante del físico inglés WILLOUGHBY-SMITH, y que, despues, se ha visto que no es exclusiva del selenio, pues otros varios sólidos gozan de ella tambien. Dispuesto el selenio en láminas apropiadas, su resistencia eléctrica cuando está en la luz es $\frac{1}{15}$ ava parte de cuando se halla en la oscuridad. Determinada esta propiedad, hubo de ocurrirle á Bell que todos los fenómenos auditivos obtenidos en el teléfono al variar la corriente eléctrica por la accion de las ondas sonoras, podrian producirse tambien haciendo variar las corrientes eléctricas por la accion, interrumpida convenientemente, de la luz sobre el selenio; y que, por tanto, sin necesidad de los alambres conductores que el teléfono necesita, podrian enviarse sonidos á gran distancia, y mantener conversaciones seguidas dos interlocutores situados en estaciones apartadas.

La palabra, pues, se produce por medio de la luz y del selenio, como sigue:

Un espejo construido de una lámina flexible, por ejemplo, de mica plateada ó de vidrio muy delgado, envia un rayo de luz de una estacion á otra. El que habla dirige la voz al reverso del espejo, y, naturalmente, hace temblar el rayo de luz reflejada que de la primera estacion va á parar á la segunda. En esta segunda estacion otro espejo, parabólico, concentra sobre láminas de selenio, adecuadamente dispuestas, los rayos de luz palpitante que vienen de la primera estacion: el receptor de selenio está conexionado con una batería eléctrica local y con un teléfono comun de los modernos. El tremor que en los rayos luminosos reflejados por la mica plateada produce en la primera estacion la voz del que habla, causa variaciones de la resistencia eléctrica en el selenio de la estacion segunda, y estas aparecen como sonido en el teléfono receptor, en virtud de una transformacion, aún inexplicada, de la energía que viene en la luz; pues, segun vamos inmediatamente á ver, los fenómenos radiofónicos parecen explicables por el calor tal vez mejor que por la luz.

LA INVENTIVA habia ya obligado á la luz, hace medio siglo, á retratar cuanto vemos: hoy la hace hablar, y la distancia no obliga á los interlocutores á aguardar largo tiempo, como ocurriria si los sonidos se transmitiesen con la velocidad comun de las ondas sonoras en el aire; pues, en los nuevos aparatos de

(1) ECHEGARAY, como el P. SECCHI, explica el magnetismo por la accion de corrientes etéreas sobre otras corrientes, ó simplemente sobre el éter.

selenio, el sonido no camina con la testudínea lentitud que en el aire, sino con la instantaneidad de la luz.

Por de contado, que todavía el fotófono es más bien que un aparato industrial, un aparato de demostracion teórica.

FORSSMAN que ha estado haciendo investigaciones acerca de la accion de luces variamente coloreadas en la conductividad galvánica del selenio, piensa que vibraciones de un órden especial, neither lighting, heating nor chemical, son las que producen variaciones en la resistencia de conductibilidad.

Pero E. MERCADIER, ante la Académie des Sciences, presenta las siguientes conclusiones:

El fenómeno utilizado por Bell merece un nombre especial, radiofonía;

Un rayo solar, hecho intermitente segun un período determinado, y dirigido sobre cuerpos tallados en láminas muy delgadas, produce un sonido de igual período;

La radiofonía no parece efecto producido por la masa de la lámina receptriz que vibra transversalmente en su conjunto como una placa vibrante ordinaria;

La naturaleza de las moléculas del receptor y su modo de agregacion, parecen no ejercer influencia preponderante sobre la naturaleza de los sonidos;

Los sonidos radiofónicos resultan de la accion directa de la radiacion sobre los receptores;

El resultado parece depender de una accion desconocida sobre la superficie del receptor;

Los efectos radiofónicos son relativamente muy intensos,

Y parecen producidos, principalmente, por las radiaciones de gran longitud de onda, que (bien ó mal) se llaman caloríficas.

Mr. PREECE ha presentado á la Sociedad Real de Lóndres resultados notables de sus experimentos sobre radiofonia, de los cuales parece deducirse que los sonidos se deben á efectos caloríficos y no á las agencias de la luz.

Pero lo que más probabilidad ha dado á esta inferencia son los recientes trabajos de TYNDALL.

TYNDALL ha hecho un número considerable de experimentos, de los cuales resulta que los fenómenos radiofónicos son térmicos, y no originados por la luz. Sospechando TYNDALL que los sonidos obtenidos por GRAHAM BELL eran efecto de rápidas variaciones de temperatura, y que estas entrañaban cambios correspondientes en la forma y el volúmen de los cuerpos heridos por los rayos de luz rítmicamente interceptados, calculó que, si estas perturbaciones rítmicas caian sobre gases y vapores muy absorbentes del calor, habrian de resultar sonidos más intensos que los obtenidos con los cuerpos sólidos.

Y, con efecto, la prevision teórica ha sido plenamente confirmada por la experiencia.

En matraces diatermanos encerró, unas veces, vapores tales como el éter sulfúrico, el éter fórmico, el éter acético.....; hizo que hiriese estos vapores un rayo de luz, rítmicamente interrumpido, y obtuvo siempre sonidos poderosos. Es de notar que los vapores son los que producen los sonidos, no los líquidos de que proceden. Vapor de agua, perfectamente invisible, los emitia con suma intensidad: otras veces llenó de gases los matraces diatermanos. Con los gases que apenas absorben calor, tales como el aire enteramente seco, el oxígeno y el hidrógeno puros, apenas produjeron sonidos las palpitaciones de la luz; pero con los gases muy atermanos, tales como el gas del alumbrado, el gas amoniaco..... obtuvo sonidos de suma intensidad.

Si notable es que la luz ó el calor se conviertan en sonido, no lo es ménos que el sonido se transforme en luz.

Mr. TREVÉ, ante la Academia de Ciencias de Francia, ha hecho con tubos semejantes á los de GEISSLER cierta série de experimentos muy notables, de los que parece deducirse que el SONIDO SE CONVIERTE EN LUZ; pues aparecen chispas de color de perla, muy diferentes de la estratificacion vaga y pálida, característica de los tubos de GEISSLER.

# X.

Los fenómenos, hoy por hoy, clasificados entre los correspondientes á lo que se llama FÍSICA MOLECULAR, no cesan un instante de ocupar á las más elevadas inteligencias.

Entre lo mucho dicho en estos últimos tiempos, entresaco lo que sigue:

### A la nota pág 163 y á la nota 1, pág. 246.

CROOKES ha continuado sus experimentos y la exposicion de sus teorías respecto al cuarto estado de la materia; aunque no sin suscitar contradictores (1).

Admitíase que las moléculas gaseosas remanentes en los tubos, despues de hecho en ellos el vacio Esprengueliano hasta el grado de rareidad mayor posible, eran repelidas del electrodo negativo por la repulsion mútua entre el electrodo mismo y las moléculas cargadas de electricidad del propio nombre. Para comprobar esta hipótesis (contrariada por algunos, puesto que supone la antigua teoría de las dos electricidades) se hicieron caminar paralelamente dos corrientes moleculares; y, de experimentos indubitables, se dedujo que en efecto se repelian ambas recíprocamente (2):

### A la nota 1, pág. 256.

Al mismo CROOKES se debe una nueva expresion, que, si verdaderamente no encierra un concepto original en la filosofía de las ciencias naturales, fija perfectamente y de una vez lo que sabemos acerca del gran problema de la exterioridad.

CROOKES define la materia como UN MODO ESPECIAL DE MOVIMIENTO.

A los físicos, verdaderamente, no ha quitado nunca el sueño la ridícula cruzada que contra ellos predica cierta clase de hombres de las escuelas tradicionales. Si ideas antiguas tienen que caer ante el descubrimiento ó la explicacion de nuevos hechos, ninguna de las eminencias modernas va á pararse ante fantasmas ni rutinas.

Pero es el caso, que mientras más se acusa de materialista y positivista á la ciencia, (dando á las palabras materialismo y positivismo, así como á sus derivados gramaticales una acepcion infantilmente ofensiva y hasta grosera, no sólo científicamente, sino tambien en el sentido de la más vulgar cortesía), más y más la ciencia declara que ni aún siquiera concibe lo que pueda ser objetivamente la MATERIA.

Ya todas las modificaciones posibles de sensacion, tales como la luz, el sonido, etc., se explican por el movimiento; y quizá no tarde mucho el dia en que, permanentemente, se considere como un MODO DE MOVIMIENTO eso á que hasta ahora se ha dado el nombre de MATERIA.

CROOKES, en tal sentido, ha publicado recientemente notables sugestiones.

Segun él, hay moléculas compuestas de átomos: son discontínuas, se hallan separadas por intérvalos relativamente grandes, y están sometidas á ciertas fuerzas atractivas y repulsivas.

Cuando la atraccion se ejerce á distancias sensibles se llama GRAVITACION, y cuando se ejerce á distancias pequeñísimas se llama ADHESION y COHESION (3).

Estas atracciones están contrabalanceadas por otras fuerzas que producen movimientos en las moléculas, los cuales varían con la temperatura.

La atraccion parece independiente de la temperatura, y aumenta cuando disminuyen las distancias: los movimientos moleculares aumentan con la temperatura ó disminuyen con ella.

Los sólidos son conjuntos de moléculas

---

(1) Véase la Seccion final.

(2) Es digna de consulta una Memoria de CROOKES titulada «Contributions to molecular Physics in high Vacua; Magnetic deflection of molecular trajectory; Laws of magnetic rotation in high and low Vacua; Phosphorogenic properties of molecular discharge.» Véase Philosophical Transactions of the Royal Society, Part II, 1879.

(3) Véase la Seccion final.

agrupadas por la cohesion, y oscilantes alrededor de centros fijos.

Los líquidos, como los sólidos, son tambien agregados moleculares en que la cohesion, por causa del calor, no tiene ya eficacia bastante para mantener fijos los centros de oscilacion.

Los gases no están sometidos á la cohesion, por haberla anulado un exceso de temperatura suficiente; pero la gravitacion ó los vasos que los contienen obligan á las moléculas á estar chocándose con incesantes colisiones.

La materia en el estado ultragaseoso se halla libre de la cohesion y de las colisiones á la vez; por lo cual, cada molécula obedece á sus propias leyes, y ejecuta autonómicamente los movimientos que le son de esencia.

Sigamos con la imaginacion una molécula ultragaseosa en su libre viaje rectilínco por el espacio: ¿qué es? ¿sólida? ¿líquida? ¿gas?

Sólida no ha de ser, por estar emancipada de toda cohesion que la retenga alrededor de centros fijos. Pero tampoco puede ser líquida ni gaseosa, porque los estados líquido y gaseoso dependen de limitaciones y colisiones mútuas de las moléculas entre sí, que para la molécula ultragaseosa no existen, libre—por hipótesis—en su marcha rectilínea.

¿Qué es, pues, una molécula libre? Ni lo concebimos siquiera. ¿Qué serían, en el cero absoluto, las moléculas privadas de sus movimientos oscilantes? Lo ignoramos por completo.

Por consiguiente, ¿qué puede ser lo que llamamos MATERIA? El efecto sobre nuestros sentidos de los movimientos de ese enigma con nombre que llamamos molécula.

El espacio recorrido por las moléculas en movimiento (espacio de cuyo concepto derivamos la idea de continuidad) no tiene, por tanto, más derecho á ser denominado MATERIA que á denominarse PLOMO el aire atravesado por la bala de un fusil.

Así, pues, ya sea que dirijamos nuestra atencion á la idea de masa en el cero absoluto sin poder en sus moléculas para conmovernos con sus movimientos oscilantes, ya sea que pretendamos concebir un átomo libre é independiente de todos los demás, sin poder tampoco para hacérsenos sensible por sus colisiones con los demás, la nocion vulgar que, niños, nos hicieron tener de la MATERIA, desaparece por completo de nuestro entendimiento, puesto que lo que carece de poder para modificarnos no puede hacérsenos directamente cognoscible.

De modo que, para nosotros, hoy, la MATERIA ES UNA FORMA ESPECIAL DE MOVIMIENTO; nocion que precisamente está muy lejos de los que acusan de materialistas en sentido de insulto á los hombres de la ciencia moderna; puesto que ese es un concepto muy evolucionado y hasta cierto punto aristocrático, toda vez que la idea de MOVIMIENTO no entra para nada en la idea vulgar que, por falta de estudio, se forman de la MATERIA los que juzgan decir una ofensa llamando materialistas á los que consagran su vida á estudiar los movimientos materiales.

## XI.

### La hipótesis de CROOKES relativa á un cuarto estado de la materia, no ha sido tan generalmente aceptada como se ha llegado á suponer.

**A la pág. 246, nota 1.**

Oposicion ha encontrado; y, entre algunos profesores alemanes, principalmente de parte de J. PULEY, de Viena.

Segun un artículo de PULEY en la Chemiker Zeitung, HITTORF en 1869, y despues GOLDSTEIN, REITINGER y URBANITZKY habian ya hecho experimentos semejantes á los de CROOKES, de los cuales CROOKES no llegó, sin duda, á tener conocimiento; pues las investigaciones de este eminente físico tienen todo el sello de la originalidad, aunque otros hayan hecho antes observaciones del mismo género. Al que está acostumbrado á la inventiva independiente, no puede caberle duda. Orígen, método, y conclusiones proclaman la individual inspiracion de CROOKES.

PULEY no niega ninguno de los experimentos de CROOKES; pero los explica de otro modo, diciendo que en los tubos donde se ha

hecho un gran vacío se desprenden del electrodo negativo, animadas de velocidad inmensa, partículas diminutísimas de metal; lo cual se prueba en que ellas forman una especie de revestimiento metálico en las paredes del vidrio, que aparecen, así, como un espejo.

Las partículas de aluminio, dice, son las únicas que no forman este depósito especular.

Tenemos, pues, aquí un caso de CONVECCION MOLECULAR ELÉCTRICA, semejante al observado por ROWLAND.

¿Qué fuerza causa el desprendimiento de las moléculas materiales del electrodo? La corriente eléctrica: es decir, el flujo etéreo.

Ademas, PULEY hace constar el hecho de que, en llegando la rareidad á cierto grado, la fosforescencia no aparece; y que, por tanto, es incorrecta la asercion de Crookes, respecto á que el fenómeno ocurre cualquiera que sea la rareidad.

Los argumentos de PULEY, segun otros físicos defensores de CROOKES, no invalidarian la doctrina del cuarto estado de la materia; por poderse explicar la deposicion metálica sobre el vidrio como un fenómeno más que acompaña á los de la rareidad gaseosa, sólo explicables en la hipótesis de CROOKES.

Otro profesor aleman, F. W. GINTL, cree explicar los fenómenos por la teoría mecánica del calor, aplicada á masas pequeñísimas puestas en rápido movimiento.

Como la tenuidad del gas remanente en cada tubo es muy grande, las partículas lanzadas por el electrodo negativo, no encontrando resistencia, chocan contra las paredes del vidrio con velocidad enorme, y producen la fosforescencia.

Para hacer concebir lo que debe poder una molécula en los tubos de CROOKES, si, por diminuta que sea, se halla animada de una enorme velocidad, cítanse nuevos ejemplos y acumúlanse nuevas especulaciones.

No es fácil decir cuál sea la velocidad de un rayo. Admitamos, sin embargo, que la electricidad ponga en movimiento las partículas de la materia con la velocidad de 50 000 millas por segundo: quizás sea más; pero, con 50 000 millas basta para explicar los efectos destructivos de cualquier fulminacion.

Una onza de materia, moviéndose con esa rapidez, (de que ni siquiera nos formamos aproximado concepto) es capaz de levantar instantáneamente un gran buque de coraza á la altura de un metro. La centésima parte de una onza moviéndose á razon de 50 000 millas por segundo, posee energía suficiente para elevar 3 toneladas á la altura de 100 piés.

Por consiguiente, caminando á ese paso, muy diminutas cantidades materiales deben destruir un campanario con gran facilidad.

Los efectos del rayo pueden, pues, explicarse por el impacto de masas insignificantes animadas de velocidad grandísima.

Pero ¿cómo la electricidad pone en movimiento las partículas de la materia?

Nadie lo sabe; y, sin embargo, no hay inconveniente en admitir una accion del éter sobre la materia ponderable, causadora de tan terroríficos efectos.

Jamás nos formamos idea de la gigantesca escala en que la naturaleza ejecuta sus más comunes operaciones.

El profesor TAIT, de Edimburgo, ha calculado que una lluvia de $\frac{1}{10}$ de pulgada sobre el área de Inglaterra, en el tránsito del vapor del agua de las nubes al estado líquido de las gotas pluviales, libera una cantidad de calor igual á la necesaria para producir el trabajo de ¡un billon de caballos-vapor, durante media hora!!

¿Por qué, pues, no han de fundir el platino las moléculas remanentes en los tubos de CROOKES?

Otra objecion á la hipótesis de un cuarto estado de la materia:

El gas rarefacto no cambia sus propiedades químicas; lo cual, segun asevera GINTL (y tambien PULEY), deberia suceder, si se efectuase una disociacion ó disolucion de cada molécula en sus átomos componentes, como juzgan lógico suponer que directamente se deduce de las mismas explicaciones de CROOKES. GINTL, por otra parte, coincide con PULEY en considerar causada la fosforescencia del vidrio por el impacto de las moléculas metálicas desprendidas del electrodo, las cuales al mismo tiempo constituyen el *medium* necesario á la transmision del torrente eléctrico.

Una nueva y al mismo tiempo interesante explicacion es de ZOCH, de Sarajevo.

Este doctor niega que el flujo eléctrico

ponga en movimiento partículas desprendidas del electrodo, y mantiene que el bombardeo productor de la fosforescencia del vidrio se verifica por las moléculas gaseosas remanentes.

Para esta aseveracion se funda en el análisis espectral.

Los fenómenos de los tubos de GEISSLER dice, son de dos clases: ópticos y mecánicos. Los ópticos son debidos á la incandescencia de las moléculas; los mecánicos á la estratificacion de los gases rarefactos.

¿Por qué esa estratificacion?

La corriente pasa del polo positivo al negativo; las moléculas se cargan de electricidad del mismo nombre en cada polo, aunque no estén en contacto con él, y son repelidas en direcciones opuestas; y, la interferencia de tales movimientos produce las estratas en los tubos de GEISSLER.

ZOCH apoya sus ideas en que con polvo de bronce, y mediante corrientes eléctricas poderosas, ha obtenido fenómenos análogos á los de los tubos de GEISSLER; y, extendiéndolos á los de los tubos de CROOKES, sugiere que, siendo estos fenómenos producibles por diferentes *medios*, incluyendo en el número partículas en polvo, no hay necesidad de presuponer un cuarto estado de la materia.

## XII.

Aunque el asunto parece inabordable, y la teoría atomística encuentra opositores, muchos son los sabios que siguen especulando sobre el tamaño, formas, distancias, etc., de las moléculas.

### A la pág. 239, 250 y 257.

A. E. DOLBEAR, dice:

MAXWELL da un diámetro tal al átomo de hidrógeno que 2 000 000, colocados en fila, formarian un milímetro. En la mayor parte de los casos los átomos se congregan para formar moléculas: así, una molécula de agua contiene 3 átomos; una de alumbre 100; una de albúmina 900; y, suponiendo que los átomos se agrupan ocupando las tres dimensiones, parece lícito suponer que la raiz cúbica del número de átomos dará el diámetro de la molécula.

Por ejemplo; la molécula de alumbre seria

$$\frac{\left(\sqrt[3]{100} = 4,64\right)}{2\,000\,000} = \frac{1}{431\,000} \text{ milímetros,}$$

y una molécula de 1 000 átomos tendria un diámetro de

$$\frac{10}{2\,000\,000} = \frac{1}{200\,000}$$

Un buen microscopio permite á un hábil observador ver un objeto

$$= \frac{1}{4000} \text{ de milímetro.}$$

BEALE, en sus obras de microscopia describe objetos de esa diminutez, y los verificadores de NOBERT, así como las marcas de la *Amphiplura pellucida*, que casi son de esa insignificante magnitud, se disciernen con las lentes buenas.

Aumentando 50 veces el poder de los microscopios ¿se podria ver la molécula de albúmen?.....

Pero, continúa DOLBEAR, hay dos dificultades que han de contrariar, si no impedir, la visibilidad de las moléculas, aun cuando la amplificacion de los microscopios se acrecentase indefinidamente, y aun cuando la interferencia, como indica HELMHOLZ, no la estorbase por completo.

Primeramente: los movimientos moleculares. Una molécula libre de hidrógeno, á la temperatura de 0° $C$ y presion de 760 milímetros, tiene una velocidad de 1860 metros por segundo, y el sentido de su direccion cambia millones de veces en el mismo tiempo. Además, la molécula tiene un movimiento vibratorio que constituye su temperatura, y debe ser de 5000 millones de millones por segundo, lo que haria transparente el espacio ocupado por la molécula. Lo mismo sucede con los líquidos y los sólidos. D. N. HODGES calcula que la excursion

de una molécula de agua en la superficie es =0,0000024 de milímetro; y, aun cuando sean mucho ménos las de los sólidos, la rapidez resultará todavía inmensamente grande para la observacion.

En segundo lugar, las moléculas deben ser diáfanas. Los rayos del sol atraviesan la atmósfera sin que la atmósfera se caliente, como deberia suceder si hubiese la menor absorcion. Cierto que el aire se calienta, pero es por conduccion y por su contacto con la tierra, la cual absorbe y almacena la energía de los rayos solares. Si alguna vez ocurre en el aire absorcion electiva, el número de rayos absorbidos es pequeñísimo, comparado con el total de los que atraviesan la atmósfera; por manera, que cada molécula individual de aire habrá de ser transparente; y, por tanto, invisible, aun cuando sus rápidos movimientos de translacion y de vibracion no constituyesen, para observarlas, impedimentos absolutos.

Esta idea de la absoluta diafanidad pudiera objetarse recordando que no todos los gases son incoloros.

En un precioso discurso leido ante la Academia de Nueva York por el profesor C. F. Kroeh, del Stevens Institute of Technology, despues de enumerar y resumir los sistemas que acerca de la constitucion de la materia profesaron Aristóteles, Leucipo y Demócrito, Epicuro, Descartes, Leibnitz, Kant, Boscowitch, y Faraday, presenta el distinguido académico las últimas ideas sobre el particular, segun las deduce de los trabajos de Joule, Clausius, Krönig, Maxwell y otros, y manifiesta que desde la creacion de la ciencia de la termodinámica, la hipótesis de los átomos y de las moléculas se ha desarrollado grandemente por el estudio matemático de sus movimientos, de tal modo, que ahora ya no se definen vagamente como en los primitivos tiempos, puesto que hoy se poseen nociones concretas relativamente á su tamaño, peso, distancias mútuas, velocidad y energía.....
..... Así es que, con tolerable certeza, dice Kroeh, puede asegurarse de la molécula de hidrógeno, que:

1.° Su peso es $\frac{46}{10^{25}}$ de gramo.

2.° Su volúmen varia mucho en los compuestos; en su estado elemental se toma como unidad de volúmen y corresponde á un diámetro $= \frac{5,8}{10^{10}}$ de metro.

3.° La distancia entre dos moléculas adyacentes de hidrógeno, es $\frac{965}{10^{10}}$ de metro.

4.° La velocidad de vibracion á 0° $C$ = 1859 metros por segundo.

5.° El número de colisiones entre las moléculas de hidrógeno = 17 750 millones por segundo.

El académico concluye diciendo que tiene nada ménos que 7 diferentes géneros de argumentacion fundados sobre datos experimentales, todos los cuales concurren para autorizar el supuesto de que las moléculas tienen un diámetro próximamente igual

$$á \ \frac{1}{500\,000\,000}.$$

Tissandier, en Francia, ha hecho curiosísimos experimentos con el polvo atmosférico. Los granitos de este polvo, medidos directamente, son menores que 1 milésima de milímetro.

De $\frac{1}{4}$ á $\frac{1}{3}$ del polvo atmosférico está constituido por materias orgánicas, y el resto por cenizas. Estas cenizas contienen cloro, hierro, siempre cal y sílice; á veces se nota la presencia de ácido sulfúrico, tal vez indicios de ácido nítrico.....

## XIII.

La unidad de la materia ha ocupado nuevamente la atencion de ciertos sabios.

### A la pág. 270, nota 1

Nuevos experimentos de Lockyer, por medio del análisis espectral, mueven á hacer presumir que el fósforo no es un cuerpo simple.

Calentado el fósforo en presencia del cobre, el fósforo desprende un gas que deja aparecer el espectro del hidrógeno.

El sódio, destilado en un tubo capilar, da 20 volúmenes de hidrógeno. El magnesio presenta coloraciones magníficas. Con el in-

dio aparece el hidrógeno. El litio da 100 volúmenes de hidrógeno.

Cada dia hay, pues, mayor razon para decir, cuando ménos:

1.° Muchos cuerpos reputados como simples son compuestos.

2.° El hidrógeno forma parte de muchos cuerpos que se tienen por simples.

### A la pág. 262, nota 1.

La descomposicion de la molécula del cloro que creyó MEYER haber hecho, no se ha confirmado, segun experimentos sabiamente dispuestos por CRAFTS, los cuales, sin embargo, parecen confirmar la resolucion de la molécula del iodo, segun manifiesta ORDWAY, de Boston.

### A la pág. 271, nota.

CIANICIAN, de Viena, supone que la homología de las relaciones que presentan los espectros de diferentes sustancias, tenidas por simples, se explicarían fácilmente suponiéndolas compuestas.

1.° Los espectros del carbono, del boro, del berilo y del magnesio son homólogos. Luego estos cuerpos son la misma sustancia en diferente grado de condensacion; por lo cual CIANICIAN forma con ellos un grupo, al cual da la denominacion de *carbonóide*.

2.° Los espectros del silicio y del aluminio son homólogos: la parte más refrangible corresponde con el espectro del carbon, y la ménos con el del oxígeno. El silicio, pues, seria carbon y oxígeno, y su peso atómico $=12+16=28$. El aluminio seria boro y oxígeno y su peso atómico $=11+16=27$.

3.° Los metales alcalinos dan espectros cuya parte más refrangible corresponde con la del espectro del magnesio, y la ménos refrangible con la de los elementos de la série del oxígeno. Por tanto, el calcio, el estroncio y el bario serian carbon en forma de magnesio y oxígeno, en las formas condensadas de azufre, selenio y teluro; los pesos atómicos: $Ca=24+16=40$; $Si=24+4{,}16=28{,}16$; $Ba=24+7{,}16=31{,}16$.

4.° Los elementos del grupo-oxígeno deben ser la misma sustancia en diferente grado de condensacion. Los pesos atómicos: $O=16$; $S=16+1{,}16=17{,}16$; $Se=16+4{,}16=20{,}17$; $Te=16+7{,}16=23{,}16$.

5.° Los halógenos serian fluoro y oxígeno en diferentes formas de condensacion. Pesos atómicos: $Cl=19+16=35$; $Br=19+4{,}16=23{,}16$; $I=19+7{,}16=26{,}16$.

6.° Los espectros del grupo-nitrógeno son homólogos con la parte ménos refrangible del espectro del nitrógeno, y en la más refrangible con los elementos del grupo-oxígeno. Los cuerpos del grupo-nitrógeno serian, por tanto, nitrógeno y oxígeno en diferente estado de condensacion y sus pesos atómicos: $N=14$; $P=14+16=30$; $As=14+4{,}16=28{,}16$; $Sb=14+7{,}16=21{,}16$.

Si estas suposiciones saliesen del grado de conjeturas, entónces los llamados elementos de la química inorgánica serian séries homólogas comparables con las séries homólogas de la química orgánica; y tan perfectamente inteligibles como estas.

Así, pues, el hidrógeno, el carbono, el nitrógeno, el oxígeno y el floro, serian los elementos típicos; lo que de ningun modo supondria que alguno de ellos fuese el último componente de la materia.

## XIV.

Los anteriores sistemas, producidos para exponer las leyes generales del mundo físico, y hasta delicados pormenores de la arquitectura molecular, parecen exigir algun comentario; porque el tecnicismo de que se hace uso es soberanamente indeciso.

Por de pronto, con las palabras MATERIA y ÉTER, ningun físico profesa significar entidades contrarias *en esencia*. Nadie rechazaria que existiese todavía incógnito un *substratum* material y sutilísimo, del cual fuese un ESTADO ESPECIAL lo ponderable, y otro ESTADO SUI GENERIS lo etéreo; ambos extraordinariamente evolucionados ya, respecto de aquel *substratum* primario simplicísimo; ambos dotados de inercia é impenetrabilidad; ambos susceptibles de movimientos vibratorios y de movimientos de traslacion; pero de ellos sólo el PONDERABLE adecuado para movimientos atractivos, y únicamente el

ETÉREO animado de movimientos repulsivos.

Visto lo que viene pasando á todas las teorías, muy de pensar es que acaso SAINTE-CLAIRE DEVILLE tenía razon al asegurar que todas están llamadas á desaparecer, sin excepcion ninguna, ni aun en obsequio de la admirable concepcion de las undulaciones de la luz.

Éter no es LO CONTRARIO de materia: éter no es, en modo alguno, NEGACION de materialidad, como el NO es lo antitético del sí: éter y materia son ambos materiales; como los polos de las brújulas son todos acero, sin que esto impida que los polos homónimos se aparten, y los heterónimos se acerquen.

Cuando se dice que los elementos del universo son dos: MATERIA y ÉTER, se usa de expresiones que á veces inducen á error; puesto que hay quien piensa que se significa MATERIA y ALGO QUE NO ES MATERIA: una verdadera contradiccion, una antinomia; cuando precisamente no hay físico que afirme la *inmaterialidad* del éter, toda vez que el éter se concibe como inerte, impenetrable, elástico, más ó ménos denso, vibratorio, transferible, etc.; propiedades todas impredicables de una negacion; como lo sería la expresada por la palabra inmaterialidad.

Lo ponderable es, pues, material, y lo etéreo tambien es material; ¿quién sabe si estados uno y otro muy desarrollados y complejos de una única sustancia ultra-etérea, enteramente aún desconocida? ¿Quién sabe si lo ponderable, lo es por haber gastado EN SERLO toda la potencial propia y exclusiva de la energía de repulsion que se supone al éter, y en cuya virtud sus átomos recíprocamente se rechazan?

Éter y materia no son necesariamente una dualidad *per se*.

Tampoco ha de creerse que sabemos algo de la esencia íntima del mundo físico, porque barajemos desenfadadamente los pretenciosos y pseudo-antagónicos vocablos de éter y materia. Por desgracia, MATERIA y ÉTER son dos enigmas con nombre, y no hemos de hacernos tan cándidos que vayamos á imaginarnos conocedores de los enigmas; porque nos sea dado articular sus científicas palabras.

De lo que sea la EXTERIORIDAD sólo sabemos que nos modifica, resistiéndonos, como si nos empujara ó percutiese; y sería el colmo de la inocencia sostener que, porque tenemos conciencia de la modificacion, conocemos su antecedente. Tanto valdria asegurar que el golpe dado por un martillo es hierro ó es acero, bronce ó piedra. El golpe no es la sustancia que lo da. Todo lo más que podemos admitir es que en la huella del martillazo quede como estampada, ó impresa, ó simbolizada de modo concomitante, la estructura especial de la sustancia percutiente. Pero la contextura del percutor tampoco es su sustancia: de manera que podrá haber correlacion entre la huella y la estructura; pero no entre la huella y la sustancia: solo habrá dependencia entre la huella y el estado particular de la sustancia en que consista la estructura.

Si, pues, racionalmente, debemos admitir y proclamar nuestra ignorancia respecto de la materia, tanto de lo etéreo como de lo ponderable; si todo nuestro vanidoso saber queda reducido á la vaguísima nocion de que la matéria es un modo *sui generis* de movimiento, júzguese de la mesura con que la prudencia científica nos obliga á hablar de la cuestion de las fuerzas. MATERIA y FUERZA aparecen como una duálidad, y mucho se ha escrito y escribe sobre ello; pero ¿qué es la materia? ¿qué es la fuerza? Despues de tanto escrito lo ignoramos; y nuestra seriedad de hombres científicos nos prohibe hacer afirmaciones absolutas acerca de lo que nos es absolutamente ignoto.

Pero ¿quiere esto decir que no imaginemos sistemas, ó que no profesemos teorías? Nada más legítimo que inventarlas; pero, por lo mismo que son de invencion nuestra, no nos es lícito concederles los inflexibles atributos de la realidad, á no proceder como el personaje de CLAUSIUS que hablaba de Monte y Valle, de Sol y Luna, como si hubiese ayudado á su formacion (1).

(1) Er sprach von Berg und Thal, von Sonne und Mond, als wenn er sie hätte machen helfen.

Corren los MAESTROS riesgo de parecerse á este ridículo personaje, cuando enseñan que no existe más que ÉTER y MATERIA; y lo afirman tan rotunda y categóricamente como si hubiesen visto ambas sustancias, si son dos, y las hubiesen zarandeado entre las manos.

La didáctica exige indudablemente el tono dogmático; pero no dogmaticemos tanto que hagamos

Seamos más modestos:

Creamos en ellas, pero con una fé condicional: sólo, mientras sea altamente verosímil que los fenómenos ocurran de tal modo, y tambien altamente inverosímil que no ocurrieran, ó que ocurrieran de modo diferente (1).

---

creer verdad lo que empieza por hipótesis y jamás pasa de conjetura. Si los griegos hubiesen estimado esta regla de conducta científica, no habrian poblado de náyades los rios, ni de oréadas los montes, ni de nereidas las mares, ni habrian visto á Júpiter lanzando rayos con mano poderosa desde las nubes olímpicas. ¿Por qué la brújula mira al Norte? Porque en el Polo hay mucho hierro, se lee en tratados de Física de principios de este siglo. Jamás podremos fabricar un compuesto orgánico, sostenian químicos eminentísimos hace 25 años. Hay multitud de fluidos imponderables: el calórico, el lumínico, el eléctrico..... promulgaban los físicos.....

Los infantes de Aragon
¿qué se hicieron?
¿qué fué de tanto galan,
qué fué de tanta invencion
como trujeron?

A la ciencia repugna hoy la complejidad de leyes y principios. Este cuerpo, en su evolucion actual, indudablemente no es aquel; un carbonato no es un cloruro; un caballo no es una zebra.....; los cuerpos isoméricos son distintos los unos de los otros.....; pero, ¿de qué depende que un cuerpo sea lo que es y no otra cosa? ¿Depende de una especial resultante de su agrupacion molecular? ¿Depende de una resultante propia de las potenciales remanentes en las sustancias que concurrieron á su actual composicion?

Probablemente será lo más simple. La gravitacion de nuestra inteligencia nos lleva á la unidad. Y la marcha general de la ciencia durante la historia no habia de ser, en el caso presente, una excepcion que razon ninguna hace temer ni autoriza á presumir.

(1) Jch glaube bloss desvegen, dass ein Ding geschehen, und dass es so und so geschehen ist, weil es höchst wahrscheinlich ist, und höchst unwahrscheinlich seyn würde, wenn es nicht, oder wenn es anders geschehen wäre.

LESSING.

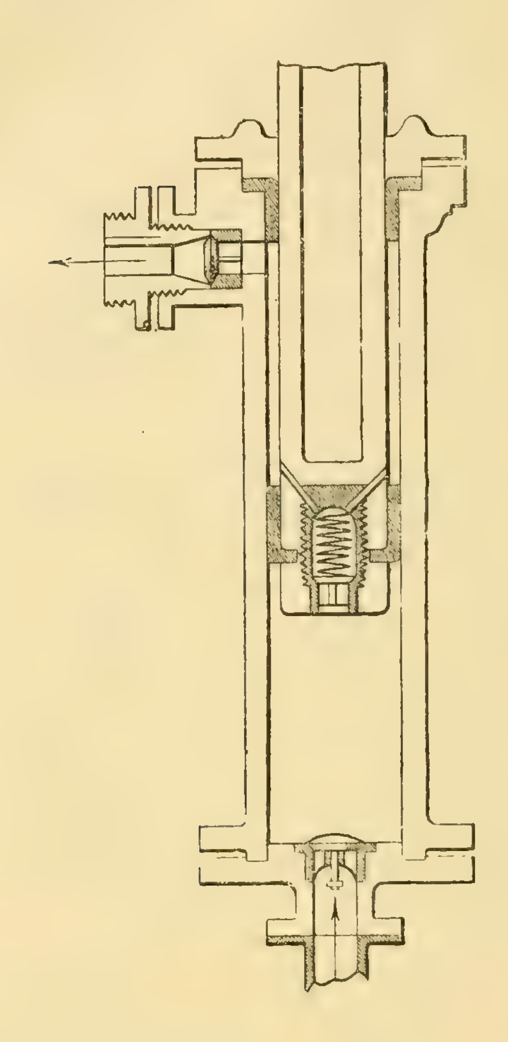
# ERRATAS.

| Pág. | Lín. | Col. | Dice. | Debe decir. |
|---|---|---|---|---|
| 7 | 29 | | lugar oportuno. | lugar oportuno. (Véase Apéndice II al Libro II Parte III; y párrafo I del capítulo II de la misma Parte.) |
| 15 | 22 | | lago | Lago |
| 16 | 28 | | Davas | Davao |
| 24 | 9 | | La Isabela? Mindanao | La Isabela? (Basilán, al S. de Mindanao) |
| 30, | nota, | 1.ª | otros de *boar*, oso, | otros de *boar*, verraco, jabalí, |
| Id. | id. | id. | *boar's head*, cabeza de oso: | *boar's head*, cabeza de jabalí; |
| Id. | id. | 2.ª | onamatopeyicas | onomatopéyicas |
| 32 | id. 1.ª y 2.ª, | col. 1.ª... | the Bri- | the |
| Id. | id. | id. | tish | British |
| 39 | id. 4.ª, | c. 1.ª | mismo | misma |
| 42 | l. 27 | | inyectada si | inyectada, si |
| Id. | 30 | | tranquila del estanque | tranquila del canal |
| 46 | antep. | | en $z'$, ó 0 que | en $z'$; ó, lo que |
| Id. | | | (En la *fig.* 22 nótese que falta una *e* en | la parte superior de la línea vertical *f*.) |
| 49 | 25 | | ondulacion | undulacion |
| 50 | 2 | | nuevo si | nuevo, si |
| 53, | nota | | los á | á los |
| 57, | l. 20 | | cae. entonces | cae; y entonces |
| 66 | en la *fig.* 43 | | bahía de Swanseabay | bahía de Swansea |
| 68, | l. 22 | | Russeliana. Véase el Apéndice á | Russelliana. Véase el Apéndice V á |
| 69, | nota, | c. 2.ª | is tipic ally | is tipically |
| 70, | l. 1.ª | | múltiples reflexiones los | múltiples reflexiones en los |
| 74, | nota 2 | | Wyville Thompsom | Wyville Thompson |
| 75 | id. | c. 2.ª | Aquí la forma subsiste, pero la materia viaja. | Aquí la forma subsiste, pero la materia no viaja. |
| 76, | l. 14 | | no conocidas aún. | no conocidas bien aún. |
| 77 | 15 | | Océano. | Oceano |
| 79 | 5 | | que el cuerpo no es motor | que el cuerpo ó peso no es motor |
| 80, | l. últ. | not. | y de los monzones | y de las monzones |
| 81 | id. | id. | manidad. | manidad. Así Arkwright, pensando en el movimiento continuo, halló el telar mecánico. |
| Id. | nota, | c. 2.ª | encrease | increase |
| 84 | id. | 1.ª | dimiuutas | diminutas |
| 87, | l. 7 | | entonces curiosos | entonces, curiosos |
| 91, | l. 2 | | I. | Apéndice I. |
| 92 | 22 | | II. | Apéndice II. |
| Id | 36 | | III. | Apéndice III. |
| 93 | 1.ª | | IV. | Apéndice IV. |
| 94 | 7, | c. 1.ª | cosenos 1, 2, 3 del diagrama | cosenos 1, 2, 3..... del diagrama |
| Id. | 11, | c. 2.ª | en la vertical de un plano | en lo alto de un plano vertical cualquiera |
| Id. | última | | *fig.* 84 | *fig.* 48 |
| 95, | not., | c. 2.ª | transito | tránsito |
| 96, | l. 6 | | V. | Apendice V.—Efectos de la marea en la rotacion terrestre. |
| Id. | 19, | c. 1.ª | consultar tan elaborado | consultar tan bien elaborado |
| 110 | 5 | | y de la su bajamar | y de la siguiente bajamar |
| 124 | 13 | | cebir y | cebir; y |
| 125 | 18 | | habrá que aguardar bastante menos para empezar el trabajo en | habrá, para empezar el trabajo, que aguardar bastante menos, en |
| 126 | 4 | | Quisiera tener | Quisiera yo tener |
| 133 | 2 | | I. | Apéndice I |
| 134 | 49, | c. 1.ª | chando $^1/_8$ de la potencia | chando $\frac{1}{8}$ de la potencia |
| 135 | 36 | | II. | Apéndice II. |

| | | |
|---|---|---|
| 137 21, c. 1.ª | utilizan al desnivel? | utilizan el desnivel? |
| 139 20 | III. | APÉNDICE III. |
| Id. 29 | IV. | APÉNDICE IV. |
| 140 17 | GAY-LUSSAC calculó 1.08800 | GAY-LUSSAC calculó 1,02800 |
| 145 13 | el tiempo que invierta la molécula *A* en llegar al punto fijo *B*. | el tiempo que tarde la molécula *B* en ponerse á la altura en que estuvo la molécula *A*. |
| 146 24 | la diferencia del sentido | la diferencia de sentido y |
| 147, nota 3 | gun ya se ha dicho | gun ya se ha dicho, pág. 61) |
| 150. l. 8 | pero si es muy furioso | pero, si el viento es muy furioso, |
| 158, l. 14 | cuya base era de casi 200 | cuya base era de casi 400 metros cuadrados, |
| Id. 20 | tormentas subidas | subidas en las tormentas |
| 160. 10 | terrible | destructor |
| 162, nota, c. 1.ª | su obra indispensable | La obra de CIALDI, indispensable |
| 163. l. 30 | de 150! | de 350! |
| 169, 21 | para probar su baratura | para probar la baratura de los motores de agua |
| 176. 10 | los pueblos de la tierra | los pueblos del mundo |
| 180, 19 | fluida y caliente | fluida é incandescente |
| 182, 29 | En 1815 ................ 9 500 000 | En 1815....... 9 500 000 toneladas. |
| 186, antep.ª | acaso, un dia no lejano, | acaso, en dia no lejano, |
| 194, l. 1.ª, c. 1.ª | bronce, que | bronce, los cuales |
| 196, n. 1,ª, c. 1.ª | tremenda velocidad de estas | tremenda velocidad de estos |
| 199, l. 16 | la fuerza se transmite á distancia | la electricidad transmite á distancia la fuerza |
| 212 38 | su eficacia | su eficacia. (Véase la lámina frente á la pág. 207). |
| 213, 1.ª | á un rendimiento igual á 95 % | á ser igual á 95 % |
| Id. 26 | ¿Porqué el rendimiento desciende | ¿Porque este rendimiento desciende |
| 215 28 | indicada en la 2.ª figura | indicada en la *figura* 64. |
| 216, nota, c. 2.ª | los orificios de la salida | los orificios de salida |
| 217, l. 10 y 11 | de hielo, se desperdicia una considerable parte en el aero-motor del trabajo | de hielo, considerable parte del trabajo invertido en los compresores se desperdicia en el aero-motor. |
| 217, 26 | dos clases considerables de pérdidas. | dos clases de pérdidas considerables. |
| 221, 13 | bajso | bajos |
| 222, 4 | desideratos | desiderata |
| 223, 4 | MALLET, de París, | (Sin embargo, MALLET, de París, |
| Id. 13 | y, sin embargo, no empleado todavía | ¡y, sin embargo, no empleado todavía! |
| 225, 8 | que luchen las locomotoras..... | que luchen, sino en casos tan excepcionales que hoy no entran en la práctica, las lomocotoras de tranvía ejecutadas en la actualidad. |
| 226, nota, c. 1.ª | Las mejores máquinas de grandes | Las mejores de vapor de grandes |
| 227, l. 22 | sobre plano horizontal | sobre vía horizontal |
| 229, nota, c. 2.ª | bajo la presion de sólo $1^{at}$ | baja la presion sólo $1^{at}$ |
| 230. l. 2 | no deberá | no debería |
| 236, 8 | El mal estaba en considerarlas | El mal estaba en considerarlos |
| 251, nota 2.ª | desaparece la transformacion | desaparece en la transformacion |
| 253, l. 6 | en la tierra almacenada | en la tierra, almacenada |
| 254, 15 | han dado | ha dado |
| 255, 7 | en las posiciones más fijas de | en las posiciones (más fijas) de |
| 257, col. 2.ª, | = 423 millonésimas de mil | = 423 millonésimas de milímetro. |
| 260, l. 22 | no llega hasta su fondo | no llega hasta el fondo |
| 261, 20 | y el cloro abandonará | y el cloro no sólo abandonará |
| Id. 21 | metálica) y se unirá | metálica) sino que se unirá |
| 263, nota 3.ª | 1 de volúmen hidrógeno | 1 volúmen de hidrógeno |
| 265, l. 11 | en las moléculas gaseosas | en las primitivas moléculas gaseosas |
| 273 4 | ninguno en las energías | ninguno de las energías |
| 275, 24 | Energías | Energías (1) (y agréguese, como nota) (1) Cuando están en el estado cinético, porque en el potencial no nos afectan. |
| 278, 3 | segun el entender humano | segun el actual entender humano |
| 280, 10 | moléculas acuosas | moléculas ácueas. |
| 282, 9 | los hechos independientes de toda teoría. | los hechos, y extrañas á toda teoría |

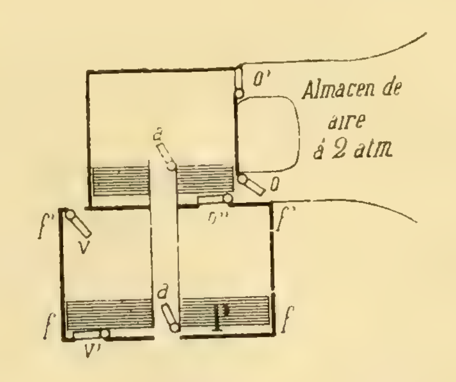
| | | |
|---|---|---|
| 284 | (*figs.* 94, 95 *y* 96) faltan en los pistones las letras $P$, $P'$ y $P''$, respectivamente. | |
| 285, l. 25 | $V : V : V'' : V'''$ | $V : V' : V'' : V'''$ |
| 287 4 | $W = \left(V = \frac{p}{p'}\right)$ | $W = \left(V \times \frac{p}{p'}\right)$ |
| 294, 19 | licuarlas | licuefacerlas |
| 296, l. 2 | I | APÉNDICE I.—LA ESTÁTICA UNIVERSAL Ó LA MUERTE. |
| 296, l. 20, c. 2.ª | para las muchas | para las otras muchas leyes |
| 298, l. 10 | XII. | APÉNDICE II.—NUEVA TEORÍA SOBRE EL CALOR. |
| 306, 30 | crece desde cero hasta 2 atm. | crece hasta 2 atmósferas |
| 309, id. | hasta la division 63 | hasta la division 1 |
| 311, 3 | además sea de $64^c$ | además sea la altura de ambos cilindros $= 64^c +$ la de cada émbolo respectivo. |
| Id. 5 | $4096^{c^3}\left(63^{c^2} \times 64^c\right) = 4096^{c^3}\big)$ | $4096^{c^3} = 64^{c^2} \times 64^c$ |
| Id. 6 | $2048^{c^3}\left(32^{c^2} \times 64^c\right) = 2048^{c^3}\big)$ | $2048^{c^3} = 32^{c^2} \times 64^c$ |
| Id. 7 | *figura* 105 | *figura* 104 |
| Id. 8 | $4096^{c^3}$ | $4096^{c^3}$ de aire |
| Id. nota, c. 2.ª | círculos | círculos. (*Véase el último párrafo de la página* 304) |
| 313, l. 16 | y el menor á $= 32^{c^2}$ | y el menor $= 32^{c^2}$ |
| 315 26 | $128^k$ ($64^{c \text{ de la base}} \times 2^{atm} = 128^k$) | $128^k = 64^{c \text{ de la base}} \times 2^{atm}$ |
| Id. 30 | pero si, tiene | pero, si tiene |
| 321 penúlt. | base respectivamente | bases respectivamente |
| 323 3 | (en metros supuestos) | (en nuestros supuestos). |
| 326 2 | *fig.* 125 | *fig.* 123 |
| Id. última | *fig.* 125 | *fig.* 123 |
| 329, c. 6.ª | 1,666 | 1,662 |
| Id. nota | $\int_8^{16} \frac{64}{x} \times dx;$ | $\int_8^{16} \frac{64}{x} \times dx; \ldots$ |
| 330, estado 2, cols. 6 y 7 | 6,555 7,555 | 7,555 6,555 |
| 331, l. 15 | , es, pues, una | , es una |
| Id. 24 | carga por centímetros | carga por centímetro |
| 337 13 | que de 1 á 2 $\left(\frac{2008}{3968}\right)$ | que de 1 á 2; $\left(\frac{2008}{3968}\right)$; |
| Id. 15 | de 2000 $\left(= \frac{0.007}{15}\right)$ | de 2000; $\left(\frac{0,007}{15}\right)$ |
| Id. 27 | las dos curvas núm. 1 | las 2 curvas 1.ª y 3.ª |
| Id. 31 | en una extension de 64. | en una extension de 64. (En rigor no es un plano, pero no hay error sensible en considerarla como tal). |

343, *figura*. Nótese que la *figura* 131 debe estar colocada como sigue. Tal como se halla en el texto, la *figura* puede servir, si en la línea 16, donde dice «baja» se pone «sube»; y en la 25, donde dice «sube» se entiende «baja».



| | | |
|---|---|---|
| 344, ls. 24 y 25 | su vez de comprimir el cual | su vez de comprimir; el cual |
| 346, 9 | I. | APÉNDICE I.—CORRESPONDENCIA ENTRE EL SISTEMA MONOCILÍNDRICO Y EL LOGARÍTMICO DIFERENCIAL |
| 347, l. 2, c. 1.ª | el piston 16ˢ | el piston durante 16ˢ |
| Id. 16 id. | andado $t$ | andado durante $t$ |
| Id. c. 2.ª | $P = \dfrac{A}{A\left(\dfrac{1-t}{2n}\right)}$ | $P = \dfrac{A}{A\left(1-\dfrac{t}{2n}\right)}$ |
| Id. id. | $P' = \dfrac{A}{A\left(1\dfrac{t}{n}\right)}$ | $P' = \dfrac{A}{A\left(1-\dfrac{t}{n}\right)}$ |

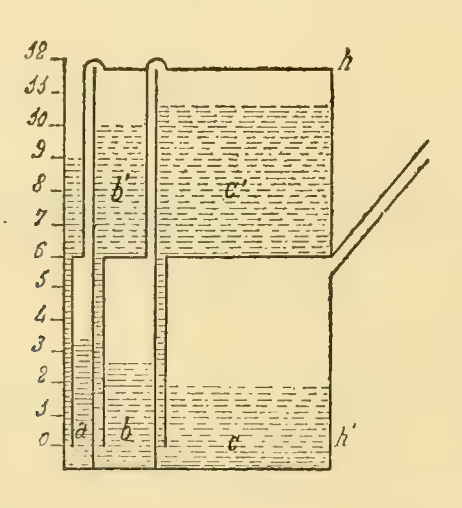
| | | |
|---|---|---|
| 348. l. 1.ª | II. | APÉNDICE II.—IGUALDAD DE LAS PRESIONES SOBRE LAS CORONAS. |
| 449, 15 | III. | APÉNDICE III.—LAS PRESIONES EN FUNCION DE LAS ALTURAS Y LAS BASES. |
| Id. c. 2.ª | *H* la altura en cada uno. | *H* el número de divisiones en la altura de cada uno. |
| 351. l. 10 | para condensar aire á 2 atmósferas | para doblar la densidad normal del aire; (aire á $2^{atm}$) |
| 358 15 | $: 1$ | $:: 1$ |
| Id 18 | $: 1$ | $:: 1$ |
| Id. 20 | $.: 1 : \sqrt[4]{2} : \sqrt[4]{2} :$ | $:: 1 : \sqrt[4]{2} : \sqrt[4]{2} \sqrt[4]{2} :$ |
| Id. 22 | $: 2 : 2\sqrt[4]{2} : 2\sqrt[4]{2}\sqrt{2} :$ | $: 2 : 2\sqrt[4]{2} : 2\sqrt[4]{2}\sqrt[4]{2} :$ |
| 362, nota | acaso ser útil en las técnica | acaso ser útil en la técnia |
| 370. l. 24 | necesario para moverse los nueve | necesario para mover los nueve |
| 373 1.ª | APÉNDICES AL CAPÍTULO III. | APÉNDICE AL CAPÍTULO III.—ALGUNAS LEYES DE LOS ÉMBOLOS INTERCALARES. |
| 374. 16 | ; $1^k,560 < 1^k,650$ | $1^k,560 < 1^k,656$ |
| 375 1 y 2 | Diferencias consecutivas | Diferencias consecutivas en los ahorros |
| 377. *figura* | En vez de la *fig.* 143. debe estar la siguiente: | |




| | | |
|---|---|---|
| 391. ls. 1 y 2 | Motor = 3 | Motor = 2 |
| 391. l. 25 | y las de los constructores | y la de los constructores |
| 395 5 | y se hallará ahora á $4^{atm}$ | y se deberá hallar ahora á $4^{atm}$ |
| Id. 22 | es una cantidad constante | es una cantidad constante. El aire, pues, no estará justamente á $4^{atm}$, sino á más de $4^{atm}$. |
| 395. l. 28 | pero el tiempo en que se realiza | pero el tiempo en que se debe realizar |
| Id. 31 | y la de 4 á $8^{atm}$ | y la que debia ser de 4 á $8^{atm}$ |
| Id. 36 | dible? | dible? Al llegar el piston al 56, estará el aire á mucho más de $8^{atm}$, para luego quedar, cuando se enfríe, á menos de 8. |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 400 | 8 | ese sistema; y, | ese sistema; que estos períodos no son simultáneos sino sucesivos; y, |
| 404 | 9 | comprimido en cada | comprimido por cada |
| Id. | 11 | siendo todos de | siendo todos los cilindros de |
| Id. | 12 | gas percondensado | gas que percondensen. |
| 405 | 19 | y del menor condensa- | y del menor recondensa- |
| Id. | antep. | ese aire á 4 | ese aire que está ya á 4 |
| 409 | 6 y 7 | sumérjase una gran cantidad de aceite encerrado en una vasija de poco peso; y, por mucha | Llénese por completo con una cantidad cualquiera de aceite una vasija de poco peso; sumérjase; y, por mucha |
| 411 | 3 | que dentro tiene | que dentro tenga |
| 413 | 10 | mono y poli | mono- y poli- |
| 415 | 7 | tubo | cubo |
| 416 | 1 | VII. | VIII. |
| Id. | 9 | $(c''c'''=x)+(c'''=9,0909...)$ | $(c''c'''=x)+(c'''n=9,0909...)$ |
| 420 | 2 | nacer | hacer |
| 423 | 16 | solo auxilia para hacerlo descender el peso de la atmósfera | solo auxilia el peso de la atmósfera para hacerlo descender. |
| 430 | 34 | Luego veremos que | Luego veremos (pág. 437) que |
| 431 | 7 | es ahora, pág. 206, | es ahora, (*fig.* 206), |
| Id. | 14 y 15 | obtener e volúmen de aire condensado ahora á | obtener el volúmen de aire condensado ahora, al empezar, á |
| Id. | última | $x=-\left(\begin{matrix}10+p\\2\end{matrix}\right)100$ | $x=-\left(\frac{10+p}{2}\right).100$ |
| 436 | 19 | mucho menos en | mucho menos tiempo en |
| 437, nota, c. 1.ª | | *figuras* 208 *y* 210 | *figuras* 208 *y* 211 |
| Id. | id. 2.ª | ma en su atmósfera artificial | ma en su atmósfera artificial, si lo colocamos en la posicion de la *fig.* 212. |
| 441, l. 20 | | á la pág. 425 se dice | á la pág 425, en la nota, se dice |
| 442 | 1.ª | APÉNDICES AL LIBRO II. | APÉNDICE AL LIBRO II.—APLICACIONES. |

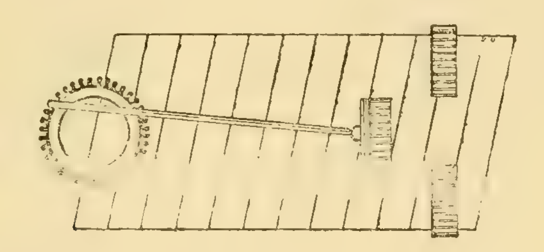
447 En vez de la *figura* 228, debe estar la siguiente:




449. l. 1.ª La página debe empezar con la division V.

| | | | |
|---|---|---|---|
| 453 | 4 | para recoger la fuerza de las | para transformar en aire comprimido la fuerza de las |
| 465 | 27 | Desde esta primera posicion | Desde esta primera posicion (*fig.* 264), en que el tabique *t t* casi toca con el líquido compresor hasta esta otra segunda, *fig.* 265, en |
| 466 | 8 | *figuras* 264 á la 266 | *figuras* 265 á la 266 |
| 468 | 2 | DE LOS FOROS HELICOIDALES | LOS FOROS HELICOIDAEES. |
| Id. | 9 | siendo la longitud del viaje siempre | siendo la longitud del viaje en cada rotacion completa del polígono siempre |
| Id. | 15 | 2.° Y si durante la rotacion | 2.° Y, si durante la rotacion completa |
| 475 | 29 | lices | lices, además del mucho mayor costo de la masa hidrargírica compresora. |
| 478 | 1.ª | APÉNDICE Á LOS CAPÍTULOS I Y II. | APÉNDICE Á LOS CAPÍTULOS I Y II.—CUESTIONES CINEMÁTICAS. |

478 La *figura* 280 debe estar así.



| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 479, l. 1.ª, c. 1.ª | | | de las *figuras* 280 *y* 281. | de las *figuras* 260 *y* 261 |
| 482, | 9 y 10 | id. | al centro del eje de rotacion | al eje de rotacion en su punto medio |
| Id. | 16 | id. | Hay, además, cuatro válvulas *w w'*..., | Hay además cuatro válvulas *w*, *w'*,..., |
| Id. | 9, id. | 2.ª | presenta la *figura* (aun | presenta la *figura* 290: (aun |
| Id. | 20 | id. | tremos terminan | tremos acaban |
| Id. | pen. | id. | veniente | veniente, *fig.* 291. |
| 483 | 2 | 1.ª | (*fig.* 290) | (*fig.* 291) |
| 484 | 1.ª | id. | solicitadas de presiones superiores á | sometidas á presiones superiores y contrarias á |
| Id. | 17 | id. | bles las semi-esperas | bles para estos mecanismos las semi-espiras |
| Id. | 3 | 2.ª | haber (*fig.* 292) cavidades | haber (*fig.* 291) cavidades |
| Id. | 11 | id. | con el uso de muy breves | con el uso en muy breves |
| Id. | 13 | id. | paréceme, con todo, de | paréceme de |
| 485 | 11 | | tacto tiene con él el almacenaje que se realice con los | tacto hay entre el almacenaje realizado con este sistema y el almacenaje que se realice con los de los foros |
| Id. | 14 | | se encuentra evidentemente cuando el | se encuentra evidentemente en un plano vertical que pase por el punto medio del eje |

486........... La nota 1 debe decir:

En efecto; si $l$ designa la longitud de un arco, $c$ su cuerda, $a$ la distancia desde el centro á esta cuerda, y $r$ el radio del círculo; el centro de gravedad del arco estará sobre el radio correspondiente á su punto medio, y á una distancia $x_1$ del centro del círculo representada por la fórmula

$$x_1 = \frac{2r}{l}\int_a^r \frac{x\,dx}{\sqrt{r^2-x^2}} = \frac{2r}{l}\sqrt{r^2-a^2} = \frac{rc}{l};$$

y, si el arco es media circunferencia, el valor de $x_1$ para el centro de gravedad será

$$= \frac{2r}{\pi} = \frac{2}{3.141592653590}\,r = 0.636619772.\,r.$$

| | | |
|---|---|---|
| 489, l. 5 | indica la *figura* 297. | indica la *figura* 299. |
| Id. 7 | *ra* 298) | *ra* 298 *y* 299) |
| Id. últ. | y como $zr$, | y como $zv$ (*fig.* 299), |
| 490, nota | foro *(tal)* | foro, *fig.* 302, |
| Id. id. | foro *(cual)* | foro, *fig.* 303, |
| 491, l. antep. | por 0,3183 | por 0,3183..... |
| 492 31 | — triángulo $os'''t''$ | — triángulo $os'''t'''$ |
| 493 1.ª | y haciendo $R = 1$ | y, tomando á $R$ como unidad, |
| | $= \frac{1}{2}\pi\left(4 - \frac{R^2}{r^2}\right) -$ | $= \frac{1}{2}\pi\left(1 - \frac{R^2}{r^2}\right) -$ |
| 494, l. 19 | ra, $= 329^c,867$ | ra, $= 329^c,867$; porque $\frac{1}{3}$ foro á $2^{atm} = \frac{1}{4}$ cilindro á $2^{atm}$. |
| 497 9 | *figura* 316 | *figura* 271 |
| 499 3 | el nivel $nn$ hasta | el nivel $nn$, que es cuando llega el momento |
| Id. 13 | debe reducirse á $tt$, $nn$ (*fig.* 320) | debe reducirse á $ttnn$ (*fig.* 321) |
| Id. 14 | $ss$ (*fig.* 321) | $ss$ (*fig.* 320) |
| 501 7 | cedimiento. | cedimiento. (*Véase la lámina frente á la pág.* 509). |
| Id. 16 | estará en la *figura* 326 | estará en la *figura* 325 |
| Id. 22 | mentado el espacio | mentado con el trapezoide circular $nn'm'm$ el espacio primitivamente ocupado por el aire. |
| 503 1.ª | mucho, si | mucho, si, |
| Id. 2 y 3 | aquí tambien $R = 1$ | aquí tambien á $R$ por unidad |
| Id. 6 | reducido á decimales el coseno $\frac{r}{R}$ | conocido el valor de $\frac{r}{R}$ |
| 507 7 | $+ oz \times 2)$ (*fig.* 335) | $+ oz \times 2)$, (*fig.* 332). |
| 510 2 | alguna cosa. | alguna cosa. La lámina anterior evidencia esta propiedad. |
| 511 | APÉNDICE AL CAPÍTULO III. | APÉNDICE AL CAPÍTULO III.—LUGAR DE LOS CENTROS DE GRAVEDAD EN LOS FOROS SIMPLES. |
| Id. 2. c. 1.ª | Secciones II y III de este Capítulo III. | divisiones II y III de la Seccion I de este Capítulo III. |
| 512, l. 21, c. 1.ª | La parte $T'tST$ | La parte $T'tTS$ |
| 522 26 id. | el centro de..... | el centro de gravedad de un semicírculo de radio $\rho$ está sobre el radio que va al punto medio de su arco, y á una distancia del centro $= \frac{4}{3} \cdot \frac{\rho}{\pi}$ |
| Id. 37 2.ª | pongamos $r = \frac{1}{2}R$, siendo, como antes, la | pongamos, como antes, $r = \frac{1}{2}R$, siendo la |
| 523............ | El lector supondrá en la *figura* 341 una flecha que falta, indicadora de que el foro tiene rotacion *dextrorsum*. | |
| 528 9 | $\frac{1}{2}$ - .1 | $= \frac{1}{2}$ .1 |
| Id. 10 | $\frac{1}{3} =$ .1 | - $\frac{1}{3}$ .1 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Id. | 20 | 7 foros simples ó helicoidales | 7 foros (simples ó helicoidales) |
| 532 | 12 | Los foros conjugados requieren | En el período de almacenaje los foros conjugados requieren |
| Id. | 13 | no diferencial en el período del almacenaje. | no diferencial. |
| 536 | 6 | doble que la de $B\left(B=\frac{A}{2}\right)$ | doble que la de $B$; $\left(B=\frac{A}{2}\right)$ |
| 539 | 31 | todo él alejado | todo él alojado |
| 541 | 5 | presion antagonista | presion mercurial antagonista |
| 551 | 4 y siguientes. | | |

Debe decir:

Ahora bien: si en el foro se ha vertido, en cantidad bastante, un líquido adecuado para servir de compresor del aire (ó de otro gas); y si el aparato ha girado oportunamente con rotacion *dextrorsum* en virtud de una fuerza suficiente; entónces, el líquido compresor ocupará los espacios simbolizados por las rayas horizontales, cuando examinemos el aparato en una posicion tal como la representada por la *figura* 364.

II.

Admitamos como condicion esencial que el aire de alimentacion entra por el departamento $A$ (*fig.* 362), situado en la parte de acá del plano del papel, y que el aire comprimido pasa al departamento $B$, situado en la parte de allá.

Y tendremos, si continúa la relacion *dextrorsum:*

1.° Los compresores $R$ y $Q$ estarán completamente llenos del líquido compresor, y sin aire, por tanto: el aire que en ellos existia cuando estuvieron en la posicion de la celda $P$ fué pasando, comprimido, al departamento $B$ al compás de la rotacion foral, siendo el gas desalojado y sustituido por el líquido compresor, el cual no puede ya salir de esas celdas hasta que en ellas se inicie el período de succion, de que en breve se ha de hablar;

2.° El

| | | | |
|---|---|---|---|
| 556, l. última | | $\left(\frac{1}{0,866}\times\frac{1}{2}\,0a=1\right)$ | $\left(\frac{1}{0,866}\times\frac{1}{2}\left(0a=1\right)\right)$ |
| 563 | 12 | al 25 °/₀ en la segunda | al 25 °/₀ en la segunda (cuando se condensa el aire desde $1^{atm}$ á 2) |
| 564 | 5 | cada una 60° $\left(\frac{360°}{6}\right)$ | cada una 60° $=\left(\frac{360°}{6}\right)$ |
| 566 | 18 | Con estos antecedentes | Y, con estos antecedentes |
| 567 | antep. | posicion del foro. | posicion del foro, |
| 568 | 4 | cie real de los $\frac{5}{13}$ | cie real de los $\frac{5}{15}$ |
| 569, *figura* | | Fig. 39 | Fig. 395. |

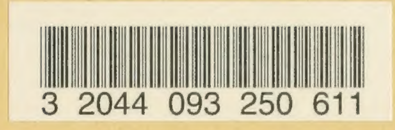
| | | |
|---|---|---|
| 573, l. 1.ª | próxima y continuando | , y continuando, |
| Id. 26 | y la diagonal de solos | y la diagonal *d' e'* de solos |
| 587, c. central | Resíduo 18,05 | Resíduo 17,95 |
| Id. 2.ª | el resíduo 5.24 | el resíduo 5,14 |
| 590, l. 7 | el foro hidráulico | el foro hidráulico, ó dando al hidrargírico 13,6 más profundidad que al hidráulico: |
| 597 1.ª | APÉNDICE AL CAPÍTULO VIII. | APÉNDICE AL CAPÍTULO VIII.—TAMAÑO Y NÚMERO DE LOS FOROS. |
| 598 7 | Pero, por lo fácil | Pero, por lo cómodo |
| 601 12 | esmerada, caros | esmerada, especialmente las válvulas de compensacion, caros |
| 607 1.ª | llenos de aire é incomunicados | llenas de aire é incomunicadas |
| 611 1 y 2 | 432 terminaria en la posicion *ade* de la *figura* 432 | 432 y terminaria en la posicion *ade* de la *figura* 433 |
| 620 8 | ese espacio y sea | parte de ese espacio, y sea |
| 624 4 | anterior *figura* | anterior *figura* 451 |
| 633 1.ª | APÉNDICE AL CAPÍTULO IX: | APÉNDICE AL CAPÍTULO IX.—PORMENORES DE CONSTRUCCION. |
| 636 20, c. 1.ª | toda eficacia (*figs.* 469 *y* 470) | toda eficacia (*figs.* 470 *y* 471) |
| 639 últ., id. | hipótesis no adventicias. | hipótesis adventicias |
| 653 15 | en el apéndice | en la nota |
| 656, nota, c. 2.ª | zizzag | ziczac |
| 664 28 | creo haberla obtenido con | creo haber obtenido esa igualdad con |
| 665 1.ª | abruptas é inaccesibles del | abruptas del |
| Id. 24 | motriz de la marea | motriz de marea |
| 667 23 | mecanismo que puede | mecanismo: puede |
| Id. 29 | no puede contarse con | no hay que contar con |
| 668 pen. y últ. | debido á la diferencia de potencia hidráulica correspondiente á los niveles. | debido á la potencia hidráulica correspondiente á la diferencia de niveles. |
| 672, not. 1, pen. | *figura* anterior 994 | *figura* anterior 499 |
| 674, l. 15 | Obvio es, pues, | Obvia es, pues, |
| 677, fin nota. | resultados. | resultados. (*Véase el siguiente capítulo IV.*) |
| 682, l. 18 | preste ayuda á la compresion del | ayude á comprender el |
| 683 5 | 0,97 que al | 0,97 de lo que al |
| 685, *figura*... . | La línea vertical *a'bd*, debe ser *a' b' d*. | |
| 687. l. 7 | atmósfera. | atmósfera. (*Véanse los estados de las páginas* 348 *y* 363.) |
| 688 9 | Una manivela *M* (*fig.* 515) | Una manivela *M* (*fig.* 516) |
| Id. penúlt.ª | (*fig.* 516). | (*fig.* 517). |
| 690, *figura*..... | La línea horizontal *np*, debe ser *np'*. | |
| Id. nota | en la nota pág. 668 | en la nota de la pág. 688 |
| 692, l. 23 | el aire de los émbolos | el aire de los cilindros |
| Id. 33 | articulados los | articulándose los |
| 701 14 | ; así, entre | : así entre |
| 707 19 | giran inversamente por medio de dos ruedas dentadas, | giran inversamente con la misma velocidad angular por medio de dos ruedas dentadas de igual radio y el mismo número de dientes. |
| 708 20 | egresion de cada pala tiene | egresion de cada pala en su estuche tiene |
| 710 5 | Estos giran como antes | Estos, como antes, giran inversamente y con la misma velocidad angular |
| Id. 7 | grandes ejes *G G G G* | grandes ejes *G*, *G*, *G*, *G* |
| 711 3 | la de las planas rectas | la de las palas rectas |
| 714 18 | rotacion completa de 300°, | rotacion completa de 360°, |
| 717, nota, c. 2.ª | en rotacion inversa cada uno | en rotacion inversa y de igual velocidad angular cada uno |
| 721, l. 2 | I. | APÉNDICE I. — UTILIZACION DE LA SAGEBIEN. |
| 729 16 | II. | APÉNDICE II.—SISTEMA TOMMASI. |
| 731, col. 2.ª | y de un segundo cilindro que pueda, á voluntad, y separadamente, unirse ó no al aparato, que llamaremos «compreso-motor.» | y de un segundo cilindro (que llamaremos «compreso-motor») que pueda, á voluntad del maquinista, é independientemente del aparato principal, unirse ó no con éste. |

| | | |
|---|---|---|
| 733, l. 11 | cionar con toda su | cionar con toda la |

357, *fig*. 563.. . Esta *figura* está impresa al revés. Debe estar así.




| | | |
|---|---|---|
| 775, l. 36, c. 1.ª | que cuando, haya de utilizarse | que, cuando haya de utilizarse |
| 779, *fig*. 583 | La varilla *t* debe llegar á estar en contacto con la excéntrica *a b*. | |
| 795, l. 12, c. 2.ª | entonces el eje | entonces el eje, *fig*. 598. |
| 796, pen. id. | entre | éntre |
| 799 11 id. | pasaría del gas motor | pasaría el gas motor |


3 2044 093 250 611